Beiträge
zur
Bodenanalyse.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

James Harvey Pettit
Urbana, Illinois, U. S. Amerika.

Göttingen.
Druck der Univ.-Buchdruckerei von E. A. Huth.
1909.

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 1909.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. B. Tollens.

Einleitung.

Vor beinahe einem Jahrhundert hat Davy[1]) den Gedanken ausgesprochen, daß es durch eine chemische Analyse eines Bodens möglich sein würde, den Ernteertrag zu bestimmen, welchen der betreffende Boden hervorbringen kann, und zu erkennen, welchen Nährstoff man dem Boden zusetzen muß, um seinen Ertrag zu vermehren.

Thaer[2]) hat sich folgendermaßen geäußert: »Die hierdurch gesammelten und verglichenen Tatsachen werden uns in der Folge wahrscheinlich dahin führen, daß wir geradezu bestimmen können, welchen Ertrag jede Bodenart, deren chemische Bestandteile und physische Lage bekannt sind, zu geben vermag«.

Diese Ansicht wurde später durch die Versuche über den Bedarf der Pflanzen an mineralischen Nährstoffen d. h. an P_2O_5, K_2O, MgO, CaO, usw. besser begründet, und dieser Idee folgend, haben dann die Agrikulturchemiker Bodenanalysen auf Bodenanalysen durchgeführt, indem sie die für Mineralanalysen gebrauchten Methoden anwandten. Die Resultate aber entsprachen den großen Erwartungen, welche man auf sie gesetzt hatte, nicht. Bei den Böden, welche sehr arm an einem einzelnen Nährstoffe waren, stimmten zwar die analytischen Resultate mit den Ernteerträgen

---

1) Elemente der Agrik. Chemie 1814, S. 3.
2) Ad. Mayer, Agrik. Chem. 6. Aufl. Bd. II, S. 87.

überein, aber in sehr vielen Fällen waren die Resultate nicht befriedigend.

Um jene Zeit unterschied man nicht oder kaum die aus dem Boden leicht zu extrahierenden Nährstoffe und die im Boden fest gebundenen Stoffe, und die damals angewandten Methoden der Bodenanalyse gaben, ohne zwischen den leicht- und schwerlöslichen Stoffen zu unterscheiden, alles was von Phosphorsäure, Kali usw. vorhanden war, an. Man kannte ferner z. B. die Säurewirkung eines Bodens und ihre Wirkung auf das Wachstum einiger Pflanzen noch nicht, und die Gesetze der Pflanzenernährung und die verschiedenen Bedürfnisse verschiedener Pflanzen an Nährstoffen waren nicht so klar wie heute. Die physiologischen Verschiedenheiten[1]) der Pflanzen, wodurch eine Pflanzenart die Fähigkeit hat, die Bodenmineralien, welche für eine andere Art nicht erreichbar sind, anzugreifen und aus ihnen seine Nährstoffe zu erhalten, waren nicht untersucht worden. So wurden der Unterschied in der Löslichkeit der mineralischen Bodenbestandteile und die An- oder Abwesenheit von anderen Mitteln außer der Pflanze selbst, welche auf ihre Löslichkeit eine Wirkung haben, nicht berücksichtigt. Es wurde z. B. gezeigt, daß ein feldspathaltiger Boden, welcher 3 % K_2O aber wenig organisches Material enthielt, den Pflanzen nicht genügend Kali zur Verfügung stellt und folglich auf diesem Boden eine K_2O-Düngung eine Zunahme des Ertrages zeigt; während auf dem Nilschlamm, welcher nur $1/2$ % K_2O aber viel organisches Material enthielt, eine K_2O-Düngung keine Wirkung zeigt. Aus diesen und anderen Gründen waren die Resultate der früheren Bodenanalysen unbefriedigend, sodaß vor 50 Jahren C. Trommer[2]) geschrieben hat: »Es

---

1) Wheeler, Rhode Island Agr. Exp. Station, Bull. Nr. 118.

2) Bodenkunde, Berlin, 1857. S. 428.

leuchtet ein, daß eine so mühsame Arbeit (Bodenanalyse) für die Praxis lange nicht den Nutzen haben kann, den man sich davon geträumt hat. Selbst den Gewinn, den man aus der Ermittelung der statistischen Verhältnisse zwischen dem Boden und seinen Erträgen zu gewinnen hofft, bleibt ein zweifelhafter«.

Aber die Agrikulturchemiker kehrten immer zu Bodenanalysen zurück, besonders, nachdem J. v. Liebig über das Bedürfnis der Pflanzen an mineralischen Nährstoffen so viel geschrieben hatte und den Grundsatz »des Raubbaus« und die Notwendigkeit, P_2O_5, K_2O, usw., welche die Pflanzen herausgenommen hatten, wieder in den Boden hineinzubringen, so gründlich gelehrt hatte.

Bald kam der Gedanke auf, daß verdünnte Lösungen von Säuren oder von Salzen, besser als concentrierte Säuren, dieselbe Wirkung auf einen Boden wie eine Pflanze haben möchten und aus dem Boden dieselben Mengen von Nährstoff wie die Pflanzen herausziehen würden. Von diesem Standpunkt aus wurden sehr viele Untersuchungen ausgeführt. Es ist unmöglich, hier alle diese Agrikulturchemiker aufzuführen, aber die folgenden Namen mögen erwähnt werden: Berthelot, Boussingault, Brassier, Clement, Dehérain, Dugast, Fresenius, de Gasparin, Grandeau, Joulie, v. Liebig, Lechartier, Maercker, Müntz, Neubauer, Petermann, Schloessing, Stutzer, Thomson, Tollens, Voelcker, Vogel, Wagner, Warington, Way und Wolff. Sie haben Untersuchungen sowohl über die Löslichkeit der Bodenbestandteile als auch über die der Materialien, mit welchen man gewöhnlich die Böden düngt, ausgeführt. Viele verschiedene Lösungsmittel wurden angewandt, deren Wirkung auf Böden in einigen Fällen mit jener von verschiedenen Pflanzen verglichen wurde. Diese Untersuchungen zeigten zwar oft eine Übereinstimmung zwischen den Resultaten der Bodenanalysen

und dem Pflanzenwuchs, aber in vielen Fällen war die Übereinstimmung entweder unbefriedigend oder nur teilweise genügend.

Im allgemeinen wurden Lösungen von verdünnten Mineralsäuren, verschiedenen organischen Säuren und Salzen gebraucht.

Karl Schmidt-(Dorpat) empfahl eine 1 %ige Salzsäurelösung.

Dehérain[1]) schloß aus seinen Untersuchungen, daß man Böden, welche keine in verdünnter Essigsäure lösliche P_2O_5 enthalten, mit P_2O_5 düngen müsse. Zu jener Zeit war 1/4 bis 1/2 der Gesamt-P_2O_5 der Grignon-Böden in Essigsäure löslich und eine P_2O_5-Düngung hatte auf ihnen keine Wirkung. Elf Jahre später[2]) berichtet Dehérain, daß dann dieselben Böden nur eine Spur von in verdünnter Essigsäure löslicher P_2O_5 zeigten, obgleich noch 0,1 % an Gesamt-P_2O_5 vorhanden war, und eine P_2O_5-Düngung hatte eine starke Wirkung.

A. Vogel[3]) bestätigte die Resultate von Dehérain und sagte, daß Böden, welche keine in verdünnter Essigsäure lösliche P_2O_5 enthalten, sehr arm an P_2O_5 seien.

Dugast[4]) führte eine sorgfältig ausgearbeitete Bodenuntersuchung durch. Er brauchte als Lösungsmittel außer Wasser Lösungen von Königswasser, Ammonoxalat, Ammoncitrat, Essigsäure und Kohlendioxyd.

Lechartier[5]) empfahl eine 2 %ige Lösung von Ammonoxalat, um die assimilierbaren Nährstoffe eines Bodens zu bestimmen.

---

1) Ann. Agron. 6 (1881) S. 392.

2) Ebenda 17 (1892) S. 445.

3) Biederm. Centr. Bl. 11 (1882) S. 852.

4) Ann. Agron. 9 (1884) S. 470.

5) Compt. Rendu 98 (1884) S. 1058.

Oft wurde Citronensäure als Lösungsmittel für die durch die Pflanzen assimilierbare P_2O_5 angewandt. Nach Dehérain[1]) haben Warington und Brassier sie benutzt.

Tollens[2]) der die Löslichkeit von verschiedenen P_2O_5-Düngungsmitteln in Citronensäure untersucht hat, empfahl dieses Lösungsmittel, um die assimilierbare Phosphorsäure der Böden zu bestimmen.

Auch wurde von Stutzer[3]) und Wagner[4]) Citronensäure gebraucht.

Dyer[5]) bestimmte die Säure des Wurzelsaftes bei ungefähr Hundert unserer gewöhnlichen Pflanzen und fand, daß, in Citronensäure ausgedrückt, ihr Säuregehalt ungefähr 1 % war. Folglich nahm er eine 1 %ige Citronensäurelösung, um die verwendbaren Bodenbestandteile zu bestimmen, da er glaubte, daß eine solche Lösung der Wirkung der Pflanzen nahe kommen würde. Mittels dieser Methode untersuchte er die Böden des Rothamsted-Versuchsfeldes, dessen Ernte- und Düngungsgeschichte wohlbekannt war. Dyer sagte, daß diese Lösung »appears likely to afford a not unreliable means of gauging, as regards the available mineral constituents, the probable fertility of the soil«.

Moore[6]) hat vierunddreißig Böden mit einer 1/200 normalen Salzsäure, einer 1 %igen Citronensäure und einer Ammoncitratlösung ausgezogen. Auf diesen Böden in Töpfen wurden Hafer und Buchweizen während fünf Jahren wachsen gelassen. In vielen Fällen gab es einen Einklang zwischen der Wirkung der Pflanze und der des Lösungs-

---

1) Cour de Chimie agricole, Paris 1873, S. 305.

2) Journ. f. Landw. 30 (1882) S. 519.

3) Chem. Ind. (1884) Feb.

4) Chem. Zeitung, (1886) S. 10.

5) Journ. Chem. Soc. 65 (1894) S. 115.

6) Journ. Amer. Chem. Soc. 24 (1902) S. 79.

mittels auf den Böden, aber im allgemeinen sagt Verfasser »die Resultate der chemischen Bodenanalysen zeigen die sofort assimilierbaren Nährstoffe nicht«.

Gedroitz[1]) braucht statt einer 1 %igen eine 2 %ige Citronensäurelösung, um die assimilierbare P_2O_5 von Böden zu bestimmen. Aber bei einem Topfversuche, in welchem er verschiedene Pflanzen benutzte, fand er einen so großen Unterschied in der Fähigkeit der verschiedenen Pflanzen, die Mineralien der Böden anzugreifen, daß die Resultate keine Übereinstimmungen zeigten. Coppenrath[2]) hielt 2 %ige Citronensäure für das beste Lösungsmittel.

Da die Pflanzenwurzeln Kohlensäure ausscheiden, haben andere Forscher Böden mit einer wäßrigen Lösung von Kohlensäure untersucht.

So brauchte König[3]) Wasser, welches mit Kohlensäure $^1/_4$ gesättigt war.

Neuerdings hat Mitscherlich[4]) eine gesättigte CO_2-Lösung gebraucht, da er denkt, daß eine solche Lösung den wirklichen Umständen in einem Boden näher kommt.

Whitney und Cameron[5]) haben einige Hundert Bodenproben im frischen Zustande mit reinem Wasser behandelt und weite Unterschiede in der Menge der herausgezogenen Nährstoffe gefunden. Aber diese Mengen haben kein Verhältnis mit den Ernteerträgen gezeigt. Außerdem haben Whitney und Cameron mittels einer starken Zentrifugalkraft, die Bodenlösung selbst vom Boden getrennt, aber die Resultate der Analyse dieser Lösung waren auch unbefriedigend.

---

1) Zhur. Apuitn. Agron. (Russ. Journ. f. Expt. Landw.) 2 (1901) S. 745. 2) Centralbl. f. Agr. Chem. 1908 S. 77.

3) Die Untersuchung landw. u. gewerb. wichtiger Stoffe, Berlin (1891) S. 23.

4) Landw. Jahrb. 36 (1907) S. 309.

5) Bureau of Soils, U. S. Dept. of. Agr., Bull. Nr. 22.

Noch später hat König[1]) die Wirkung von Wasserdampf unter einem Druck von fünf Atmosphären auf den Nährstoffgehalt eines Bodens untersucht. Er hat gezeigt, daß die durch dieses Mittel herausgezogenen Nährstoff-Mengen mit jenen, welche Hafer und Erbsen aus dem Boden aufnahmen, genauer übereinstimmten als die Mengen, welche entweder eine 2 %ige Lösung von Citronensäure, eine 1 %ige von Essigsäure, eine ½ %ige von Oxalsäure, eine 2 %ige von Ammoncitrat oder eine Lösung von CO_2 auszogen. Aber die Menge, welche Wasserdampf unter Druck aus jedem von sechs verschiedenen Böden auszog, war nicht dieselbe wie die, welche entweder Hafer oder Erbsen aufnahmen. Auch gab es kein bestimmtes Verhältnis zwischen diesen Mengen.

Da im allgemeinen die Resultate der Bodenanalysen durch schwache Lösungsmittel mit der Wirkung der Pflanzen auf den Böden keine Übereinstimmung gegeben haben, d. h., da sie die Mengen der sofort assimilierbaren Nährstoffe nicht gezeigt haben, haben für die Analyse eines Bodens die Agrikulturchemiker und die Versuchsstationen stärkere Lösungsmittel gebraucht, welche entweder den Gesamtnährstoffgehalt zeigen oder den Teil davon, welcher im Laufe von vielleicht 50 Jahren durch Verwitterung und andere Ursachen für die Pflanzen assimilierbar gemacht worden sein wird.

So wird in Deutschland eine ungefähr 30 %ige Salzsäure (sp. Gew. 1,15), welche Wolff zuerst empfohlen hat, gebraucht. Wohltmann[2]) hat mit diesem Lösungsmittel eine große Zahl von deutschen und ausländischen Böden untersucht. Die Agrikulturchemiker[3]) der Vereinigten Staaten von Amerika

1) Landw. Versuchsstation, 66 (1907) S. 401.

2) Journ. f. Landw. 44 (1896) S. 211.

3) Bureau of Chem. U. S. Dpt. of Agr. Bull. Nr. 107.

brauchen eine ungefähr 21 %ige HCl (sp. Gew. 1,115). Thoms[1]) verglich die Ernteerträge einiger baltischer Böden mit den in einer 10 %igen HCl-Lösung löslichen P_2O_5- und K_2O-Mengen. Kobus[2]) zog tropische Böden von Java einige Male mit verdünnter HCl aus.

In Frankreich haben Boussingault, Girardin, de Gasparin und Andere Salpetersäure und Königswasser benutzt, um Böden zu untersuchen. Auch haben Schütze[3]), Knop[4]) und Mohr in Deutschland HNO_3 gebraucht.

Diese Methoden geben wertvolle Resultate sowohl zur systematischen Untersuchung von Böden in Beziehung auf permanente Landwirtschaft und ihre Erhaltung auf diesen Böden, wie auch zur Bodenklassen-Ordnung. Dies ersieht man aus den Untersuchungen von Thoms[5]) über Böden der baltischen Provinzen von Rußland, aus denen von Wohltmann[6]) über Böden aus dem Rheinlande und aus denen von Hopkins und Pettit[7]) über Böden des Staates Illinois, V. St. America.

Man kann übrigens nicht sagen, daß bei einem gewöhnlichen Boden eine chemische Analyse keinen Wert hat, um seine unmittelbare Ertragsfähigkeit kennenzulehren. Unter diesen Umständen und für andere besondere Zwecke aber ist ein schwaches Lösungsmittel ohne Zweifel besser als ein stärkeres. Vor kurzem hat Th. Schloesing[8]) jun. zu diesem Zwecke eine Methode angegeben, welche vor

---

1) Journ. f. Landw. 42 (1894) S. 1.
2) Ibid. 50 (1902) S. 289.
3) Ann. Chem. Pharm. Suppl. VI. S. 332.
4) Bonitierung der Ackererde, Leipzig, 1872. S. 124.
5) Die Wertschätzung der Ackererde, III. S. 104.
6) Sep. Abdr. Ill. Landw. Zeitg. 1899, Nr. 84 u. 85.
7) Illinois, Agr. Exp. Station Bull. Nr. 123.
8) Compt. Rendu 128 (1899) S. 1004.

den oben genannten Methoden außerdem den Vorteil hat, daß sie die Bodenbasizität, d. h. den Gehalt des Bodens an Kalk und anderen basischen Stoffen, berücksichtigt. Die Basizität zeigt große Unterschiede bei verschiedenen Böden. Folglich neutralisiert dasselbe Gewicht der verschiedenen Böden einen größeren oder kleineren Teil derselben Menge einer schwachen Säurelösung, und folglich muß man bei einem sehr basischen Boden mehr Säure anwenden als bei einem Boden, welcher wenig Basen enthält.

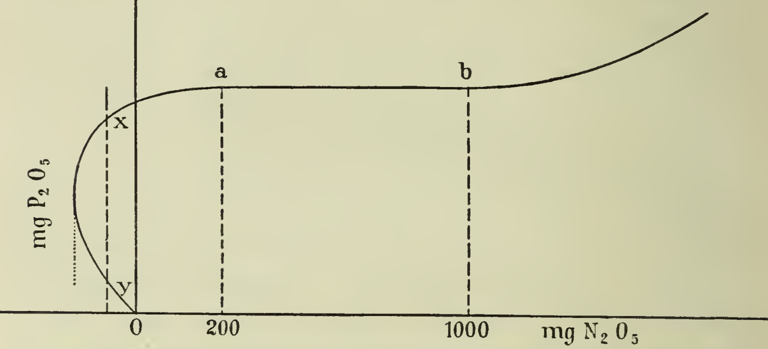
Schloesing hat seine Versuche mit vier verschiedenen Böden gemacht und hat gezeigt, daß, wenn man sehr verdünnte Lösungen von Salpetersäure anwendet, die in den Extrakten gefundene Phosphorsäuremenge zunächst mit steigendem Gehalt der Lösung an Salpetersäure sehr schnell zunimmt; später bleibt die P_2O_5-Menge konstant und endlich nimmt sie mit an Salpetersäure noch stärkeren Lösungen allmählich wieder zu. Obgleich der Kalkgehalt der Böden sehr verschieden war, lag doch bei jedem Boden die Concentration der Salpetersäure, welche die fast konstant bleibende Menge an Phosphorsäure auszog, zwischen den Grenzen von 200 und 1200 mg N_2O_5 im Liter, welche 1/45 und 1/270 einer normalen Lösung entsprechen. Diese Tatsache zeigt eine natürliche Grenzlinie zwischen der leicht löslichen und minder löslichen Bodenphosphorsäure.

Später hat von Sigmond[1]) mit dieser Methode elf typische ungarische Böden untersucht. Auch diese zeigten in ihrem Kalkgehalt einen großen Unterschied, sodaß, wenn man ein Extrakt mit gleichem Säuregehalt am Ende der Digestion haben wollte, man sehr verschiedene Mengen von Salpetersäure auf den Boden bringen mußte. Die Resultate zeigten, daß bei jedem Boden diese Grenzlinie zwischen der

1) Zeitschr. f. landw. Versuchsw. Österreich, 1907 S. 581.

mehr löslichen und minder löslichen Bodenphosphorsäure bei ziemlich bestimmter Endconcentration der Säure liegt.

v. Sigmond hat seine Resultate durch ein in der beigefügten Abbildung veranschaulichtes Diagramm erläutert, in welchem die Endconcentration der Salpetersäure als Abscissen und die in Lösung gegangene Phosphorsäure als Ordinaten angegeben sind. Zwischen a und b ist die Kurve beinahe horizontal. Diese besagt, daß es zwischen diesen



Grenzen der steigenden Endacidität keine Zunahme des in der Lösung gefundenen P_2O_5-Gehalts gibt.

Obwohl die von Schloesing für zwei Böden und die von v. Sigmond für einen Boden gegebenen Zahlen die in der Abbildung gezeigte Gestalt des linken Kurventeils andeuten, ist dies doch wahrscheinlich nicht richtig, da es nicht möglich sein kann, daß, unter denselben Umständen eine gleichwertige Säurelösung z. B. eine solche, welche durch die Lage der Linie x-y repräsentiert ist, aus einem Boden verschiedene P_2O_5-Mengen z. B. die durch die Punkte x und y repräsentierten, lösen kann. Es scheint wahrscheinlicher zu sein, daß die punktierte Linie oder eine solche, welche links ohne Rückwärtskrümmung nach der horizontalen Linie läuft, die richtigere ist. Die grössere Menge der Zahlen von Schloesing und von v. Sigmond und dazu auch die des Verfassers,

deuten dies an. Weiter, weiß man, daß jeder saure oder wässrige Auszug eines gewöhnlichen Bodens, ob er neutral oder alkalisch reagiert, etwas Phosphorsäure enthält. Folglich ist es unmöglich, daß die Kurve die horizontale Linie, sowie von Sigmond es dargestellt, trifft[1].

Die Resultate dieser beiden Untersuchungen deuten eine solche bestimmte Verteilung zwischen den Bodenphosphaten an, so daß es dem Verfasser wertvoll schien, diese Versuche weiter fortzusetzen und diese Methoden auszudehnen auf die Bestimmung des Kaligehalts des Bodens.

Methoden.

Nach einigen Vorversuchen habe ich die Basizität des Bodens bestimmt, die Bodenlösung vorbereitet, und Phosphorsäure und Kali darin bestimmt wie folgt:

Die Bestimmung der Basizität des Bodens. 25 g lufttrockene Feinerde werden mit einer Salpetersäurelösung, von der 1 cc 100 mg N_2O_5 entspricht, gekocht. Die Säure wurde in Portionen von 10 cc (= 1000 mg N_2O_5) zugesetzt und zwar so oft, bis nach dem Kochen die Lösung gegen Lakmuspapier sauer reagierte. Nach Abkühlung, Verdünnung auf genau 500 cc und tüchtigem Umschwenken, wird die Lösung filtriert und werden davon 50 cc mit einer Kalilauge, von der 1 cc genau 10 mg N_2O_5 entspricht, mit Benutzung von Methylorange als Indicator, titriert. Wenn man die zur Titrierung erforderlichen Kubikzentimeter der Lauge von den anfangs zur Neutralisierung der nicht mit den Boden in Berührung gebrachten Säure nötig gewesenen Kubikzentimetern abzieht, so ergibt sich die Menge N_2O_5 in Dezigrammen, welche erforderlich

1) Wahrscheinlich zeigt der Teil der Kurve links von a—b die Phosphate von Kalzium, Magnesium und den Alkalien, während der Teil rechts die Phosphate von Eisen und Aluminium angibt.

war, um die Basizität der 25 g Feinerde zu neutralisieren.

Die Bereitung der Bodenlösung. Eine bestimmte Menge von der Salpetersäurelösung wurde in einen 1000 cc Meßkolben hineingebracht und destilliertes Wasser bis zur Marke zugesetzt. Nach dem Umschütteln wurde diese Lösung in eine 1200 cc bis 1500 cc Flasche, welche 25 g der lufttrockenen Feinerde enthielt, gegossen. Die Flasche wurde von Zeit zu Zeit geschüttelt und bei Zimmertemperatur stehen gelassen, bis die Kohlensäureentwickelung aufgehört hatte. Dann wurde die Flasche in einem Wagnerschen Rotationsapparat oder einen anderen zweckmässigen Schüttelapparat gebracht und bei Zimmertemperatur 11 Stunden lang bewegt. Dies mußte genügen, dann mehrere Versuche bei verschiedenen Agrikulturchemikern[1]) haben gezeigt, daß im Laufe dieser Zeit, ein Gleichgewicht zwischen den Bodenbestandteilen und dem Lösungsmittel sich praktisch herstellt.

Danach wurde die Lösung filtriert und 25 cc, d. h. 1/40 der Lösungsmenge (1000 cc), wurden mit der oben genannten Kalilauge titriert. Wenn man die zum Neutralisieren nötige Kubikzentimeterzahl mit 40 und 10, d. h. mit 400, multipliziert, so hat man die noch vorhandene Säure, d. h. die Endacidität der Lösung in mg N_2O_5 ausgedrückt.

Bestimmung der Phosphorsäure. 800 cc der Bodenlösung (oder ein Teil davon, wenn der Boden sehr reich an P_2O_5 war) wurden in einer Porzellanschale bis zu vollständiger Trockenheit eingedampft. Wenn die Lösung nicht schon sauer war, wurde etwas Salpetersäure vorher zugesetzt. Der Rückstand wurde mit HNO_3 angefeuchtet und diese, um die Kieselsäure unlöslich zu machen, wieder voll-

---

1) a) Moore, Journ. Amer. Chem. Soc. 24 (1902) S. 79.
b) Hall and Amos, Trans. Chem. Soc. 89 (1906) S. 205.
c) Mitscherlich, Landw. Jahrb. 36 (1907) S. 309.

ständig verdampft. Nach Behandlung dieses Rückstandes mit verdünnter HNO_3 wurde die entstandene Lösung in einen Glascylinder von ungefähr 100 cc, welcher mit einem Gummistöpsel vollständig geschlossen werden konnte, hineinfiltriert und das Filter mit Wasser nachgewaschen. 2 g festes salpetersaures Ammonium wurden zugesetzt, die Lösung bis 50 cc verdünnt, danach 5 cc conc. HNO_3 und dann für an P_2O_5 ärmere Böden 10 cc, für reichere 20 oder 30 cc der gebräuchlichen Molybdänsäurelösung[1]) zugesetzt. Der Zylinder wurde während einer halben Stunde in einem Schüttelapparat tüchtig geschüttelt. Nach einhalbstündigem ruhigen Stehen, wurde der gelbe Niederschlag von Ammoniumphosphormolybdat in einen vorher geglühten, gewogenen Goochtiegel abfiltriert, mit einer 1/10 prozentigen NH_4NO_3 Lösung gewaschen und getrocknet. Der Goochtiegel wurde innerhalb eines größeren Porzellantiegels aufgehängt und der letztere mit einem Bunsenbrenner zuerst gelinde erhitzt, bis der Niederschlag orange gefärbt war, dann bis zur Rotglut, bis das tief schwarzblaue $24\,MoO_3 \cdot P_2O_5$ vorhanden war. Nach Abkühlung wurde der Tiegel mit diesem Körper gewogen. Um die Menge der P_2O_5 zu bekommen, wurde das Gewicht des gefundenen $24\,MoO_3 \cdot P_2O_5$ mit dem Faktor — 0,03946 multipliziert.

Die soeben gegebene Methode P_2O_5 zu bestimmen, welche zuerst Meineke[2]) in Gebrauch gebracht hat, welche später Neumann[3]), Berju[4]) und Andere verbessert haben, und welche oft Neumanns Methode genannt wird, wurde von mir mit der gewöhnlichen $Mg_2P_2O_7$-Methode und der volu-

---

1) König, Untersuchung landw. wichtiger Stoffe, Berlin 1906, S. 724.

2) Zeitschr. f. Anal. Chem. 26 (1887) S. 636.

3) Zeitschr. f. Anal. Chem. 37 (1898) S. 303.

4) Journ. f. Landw. 54 (1906) S. 31.

metrischen Methode von Pemberton[1]) verglichen. Die mit diesen drei Methoden erhaltenen Resultate werden in der folgenden Tabelle gegeben.

Milligramm P_2O_5 im 200 cc eines Bodenauszugs.

$Mg_2P_2O_7$ - Methode	Pemberton-Methode	Neumann-Methode
15.4	15.7	15.4
15.3	15.6	15.4
15.4	15.6	15.4
15.5	15.7	15.5
	15.7	

Die Methode von Pemberton hat etwas höhere Resultate als die gewöhnliche $Mg_2P_2O_7$-Methode ergeben, doch habe ich das Neumann'sche Verfahren, dessen Resultate mit denen der gewöhnlichen Methode gut übereinstimmen, angewandt.

Bestimmung des Kalis. 800 cc der Bodenlösung, oder ein Teil davon, wurden nach Zusatz von einigen Tropfen einer $BaCl_2$-Lösung, bis zu ungefähr 20 cc eingedampft, dann in eine kleine Porzellanschale hineingewaschen und bis zu vollständiger Trockenheit eingedampft. Die Schale wurde, um die HNO_3 auszutreiben und das Eisen, Aluminium, und die P_2O_5 in in Wasser unlösliche Oxide und Phosphate überzuführen, über einem Bunsenbrenner gelinde erhitzt. Nach Abkühlung und dem Zusatz von etwas Wasser wurde der Rückstand mit einem Glasstab fein zerrieben und dann auf dem Wasserbad mit Wasser eine viertel Stunde lang digeriert. Dieser Auszug wurde in eine kleine Porzellanschale filtriert, das Filter mit heißem Wasser nachgewaschen, und dann wurde nach dem Zusatz von ein paar Tropfen HCl das Filtrat anf dem Wasserbad bis auf ungefähr 20 cc

1) Zeitschr. f. angewandte Chem. Jahrg. 1893, S. 705.

eingedampft. Dann wurden 2 bis 3 cc einer 20 prozentigen Überchlorsäurelösung zugesetzt und das Eindampfen fortgesetzt, bis der Geruch von HCl verschwunden war und weisse Nebel von $HClO_4$, als Anzeichen von einem $HClO_4$-Überschuß, erschienen waren. Nach Abkühlung und Zusatz von 10 cc 96-%igen Alkohols, wurde das Kaliumperchlorat mit einem Glasstab sehr fein zerrieben und nach einer viertel Stunde durch einen Goochtiegel abfiltriert, mit 96 %-igem Alkohol, welcher $^4/_{10}$ % $HClO_4$ enthielt, und endlich mit 2 cc 96 %igen Alkohols gewaschen. Das Volumen des gesamten Filtrats (Filtrat + Alkohol) war nicht größer als 50 cc. Der Tiegel mit dem $KClO_4$ wurde bei 120° eine halbe Stunde lang getrocknet, in einem Exsiccator abgekühlt und gewogen. Mit heißem Wasser wurde das $KClO_4$ gelöst und ausgewaschen. Dann wurde der Tiegel nochmal auf 120° erhitzt, abgekühlt und gewogen. Der Unterschied zwischen den beiden Gewichten war die gefundene $KClO_4$-Menge. Diese gab, mit dem Faktor 0,3402 multipliziert, das Gewicht an Kali[1]).

Um diese Methode zu controllieren, habe ich 0,9986 g reines und trockenes KNO_3 (enthaltend 0,465 g K_2O), zusammen mit etwas $MgCl_2$ und $CaSO_4$, in 100 cc destilliertem Wasser gelöst. In je vier Portionen von 10 cc dieser Lösung, welche 0,1368 g $KClO_4$ geben müssen, wurde das Kali nach der oben genannten Methode bestimmt. Das Waschen und das Wägen des $KClO_4$ wurden einigemale wiederholt, um festzustellen, ob ein Verlust während dieser Operation eintreten kann. Bei 20 Bestimmungen dieser Art haben die ungefähr 136 mg $KClO_4$, nachdem sie mit 10 cc des angesäuerten Alkohols und nachher mit 2 cc 96-prozentigen Alkohols gewaschen waren, 0,8 bis 1,8 mg,

1) Landw. Versuchsstation 67 (1907) S. 145.

im Durchschnitt 1,2 mg, weniger als die obige Zahl an $KClO_4$ gegeben; während 8 Bestimmungen, bei welchen das $KClO_4$ mit nur 10 cc des angesäuerten Alkohols gewaschen waren, 0,2 bis 0,6 mg, im Durchschnitt 0,5 mg weniger wogen. Durch Subtraktion des mit heißem Wasser ausgewaschenen und wieder bei 120° getrockneten Tiegels vom Gewicht des Tiegels + $KClO_4$, habe ich die folgenden Gewichte an $KClO_4$ gefunden; 136.6, 136,8, 137,0 und 136,6 mg, im Durchschnitt 136,7 mg. Diese Resultate zeigen, daß Kaliumperchlorat in mit Überchlorsäure angesäuertem Alkohol etwas und in nicht angesäuertem Alkohol mehr löslich ist. Doch gibt die Methode völlig genügende Resultate.

Die Resultate mit sechs Böden.

Nach den obengenannten Methoden wurden sechs Böden untersucht. Die Buntsandstein-, Muschelkalk- und Lehm-Böden sind aus der Göttinger Gegend mir freundlichst von Herrn Prof. v. Seelhorst beschafft, wofür ich ihm meinen Dank ausspreche. Den Gartenboden habe ich aus dem Garten und die anderen beiden Bodenproben von dem permanenten E-Felde des landwirtschaftlichen Versuchsfeldes genommen; die eine von der Parzelle, welche in den letzten 35 Jahren keine Düngung bekommen hat, die andere von der Parzelle, welche während dieser Periode jährlich mit P_2O_5 gedüngt worden ist.

In den Tabellen I und II findet man die durch Extraktion mit verdünnter Salpetersäure bei wechselnder Endacidität erhaltenen Resultate. Der Vollständigkeit halber habe ich bei den Buntsandstein-, Lehm-, Muschelkalk-, und Garten-Böden neben den Extraktionen mit verdünnter Salpetersäure auch die gewöhnlich ausgeführte Extraktion der

Böden mit concentrierter Salzsäure, wie sie u. A. neuerdings von Wohltmann[1]) vielfach ausgeführt worden ist, angewandt und die so erhaltenen Zahlen als »Gesamt-Phosphorsäure« und »Gesamt-Kali« ebenfalls in den Tabellen I und II aufgeführt.

Es wurde die Digestion der Böden mit kalter Salzsäure von 1.15 spez. Gew. während 48 Stunden unter häufigem Schütteln ausgeführt. Die Zahlen für die »Gesamt-P_2O_5« der anderen Böden wurden aus einer Veröffentlichung von v. Seelhorst[2]) genommen.

---

1) Journ. f. Landw. 44 (1896) S. 211.
2) Journ. f. Landw. 50 (1902) S. 312.

Tabelle I. P_2O_5 und K_2O löslich in verdünnter HNO_3.

Bodenart	Basizität mg N_2O_5	Endacidität mg N_2O_5	Auf trock. Erde gerechnet.	
			% P_2O_5	% K_2O
Lehm	660	00	.014	
		100	.023	.007
		500	.023	.012
		940	023	.012
		1400	.028	.012
		1880	.031	.012
		2460		.012
		4230		.015
		7050		.021
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.099	.104
Muschelkalk	500	—16	.001	
		80	.005	
		280	.005	.016
		720	.005	.017
		1180	.007	
		1620	.008	.020
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.044	.095
Buntsandstein	290	160	.010	
		360	.011	
		840	.012	.015
		1240	.012	
		1740	.013	
		2200	.015	
		2800		.017
		4720		.018
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.040	.043

Tabelle II. P_2O_5 und K_2O löslich in verdünnter HNO_3.

Bodenart	Basizität mg N_2O_5	Endacidität mg N_2O_5	Auf trock. Erde gerechnet.	
			% P_2O_5	% K_2O
Garten	1950	—80	.168	
		—20	.293	
		00	.302	
		20	.314	
		400	.350	.045
		880	.355	.052
		1340	.356	.054
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.448	.169
Winter-[1]) weizen (Ungedüngt)	2400	—40	.178	.006
		00	.243	
		200	.278	.016
		560	.277	.020
		1060	.279	.021
		1530	.284	.022
		2060	.289	.023
		3040	.303	.025
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.367	
Winter-[1]) weizen (P_2O_5 Düngung)	2420	—40	.261	.006
		00	.338	
		180	.370	.016
		560	.384	.017
		1000	.379	.018
		2980	.411	.021
Gesamtgeh. (m. conc. Salzsäure bestimmt)			.455	

1) Pflanzenbestand des Feldes.

Wenn man die Buntsandstein- und Muschelkalk-Böden vergleicht, sieht man, daß, während sie ungefähr dieselbe Gesamt-P_2O_5 enthalten, der erstere $2^1/_2$ mal so viel in verdünnter HNO_3 lösliche P_2O_5 als der letztere enthält. Bei den Lehm- und Muschelkalk-Böden ist die Gesamt-P_2O_5 des ersteren nur zwei und ein viertel so groß wie die des letzteren, während seine in verdünnter HNO_3 lösliche P_2O_5 $4^1/_2$ mal so groß ist.

Der hohe Gehalt an P_2O_5 und besonders der sehr hohe Gehalt an leicht löslicher P_2O_5 der anderen drei Böden ist bemerkenswert. Während bei den ersten drei obengenannten Böden nicht mehr als 30 % der »Gesamt-P_2O_5« in der verdünnten HNO_3 löslich ist, beträgt bei den letzten drei Böden die prozentische Lösbarkeit ungefähr 80 % der »Gesamt-P_2O_5«.

Wenn man den in der verdünnten HNO_3 löslichen Kaligehalt dieser Böden betrachtet, so sieht man, daß die Lösungen der verschiedenen Böden, welche dieselbe Endacidität haben, größere Unterschiede in ihrem Kaligehalt zeigen, aber, im allgemeinen, zeigen die Resultate keine so auffallende Unterschiede zwischen dem leicht löslichen und dem schwer löslichen Kali, wie die oben beschriebenen Unterschiede zwischen leicht und schwerlöslicher Phosphorsäure.

Es ist aber wertvoll darauf aufmerksam zu machen, daß, obgleich der Lehm $2^1/_2$ mal so viel »Gesamt-K_2O« als der Buntsandstein enthält, doch der Gehalt an leicht löslichem K_2O des letzteren um $^1/_5$ größer ist als der des ersteren.

Die Tabellen III, IV und V zeigen die Resultate graphisch.

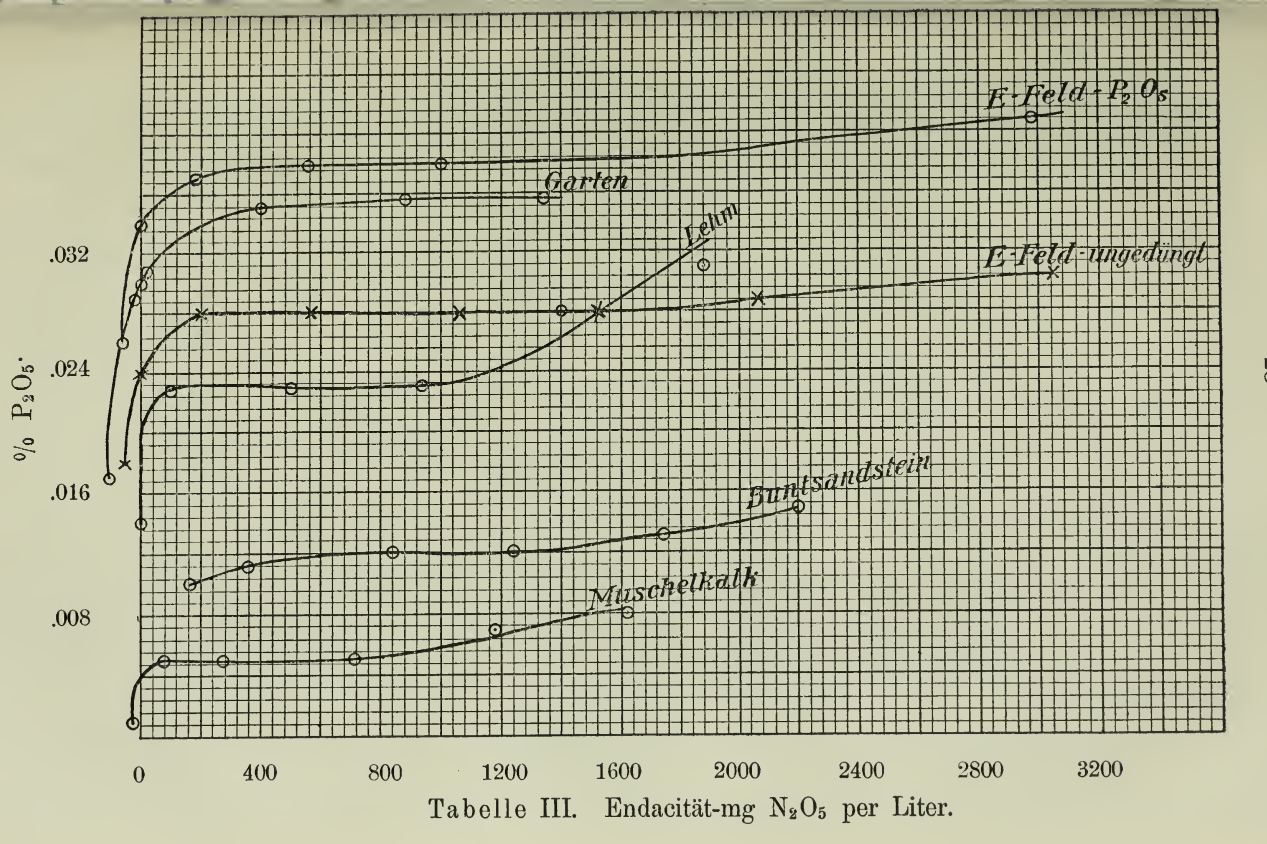


Tabelle III. Endacität-mg N_2O_5 per Liter.

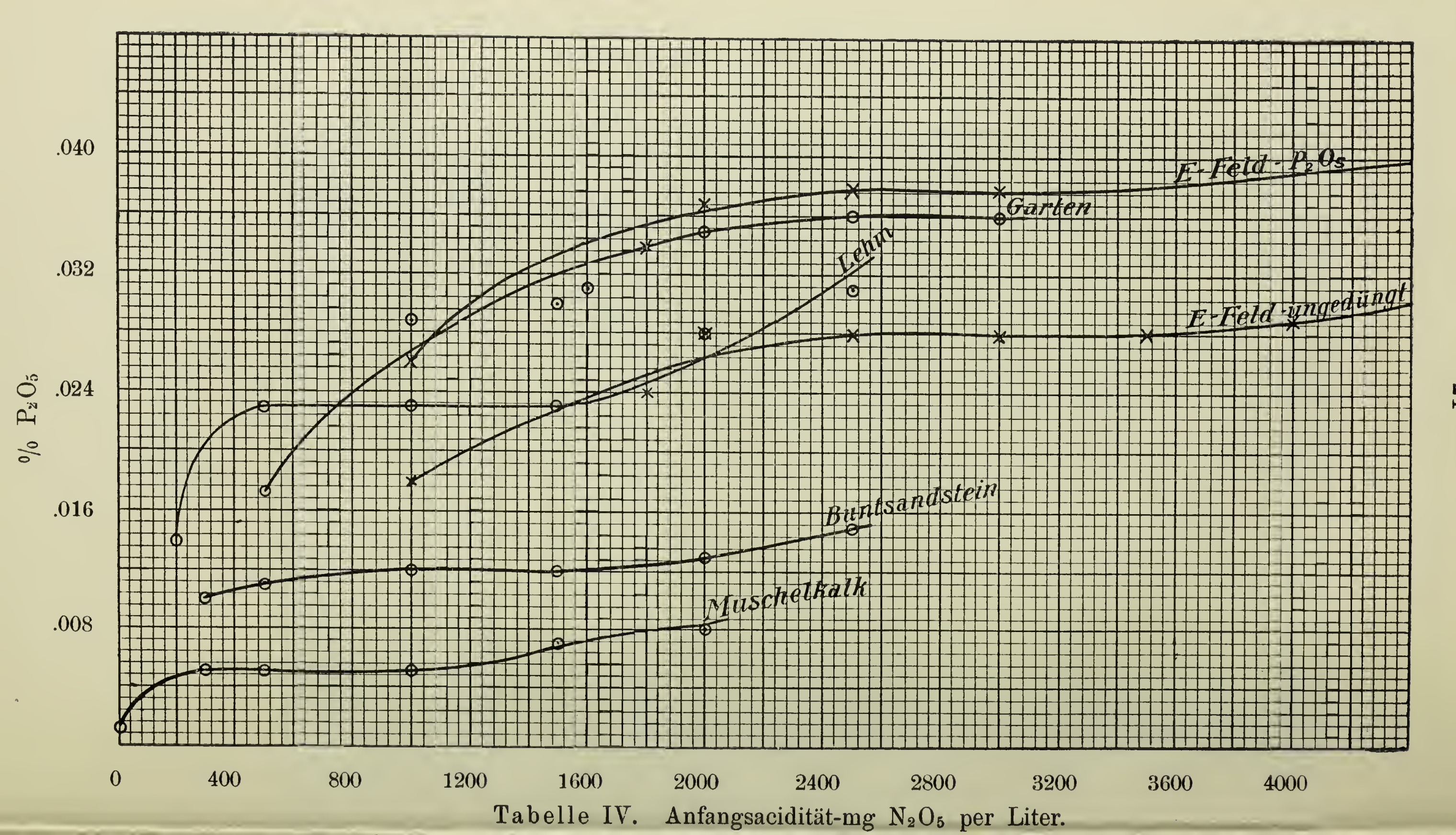


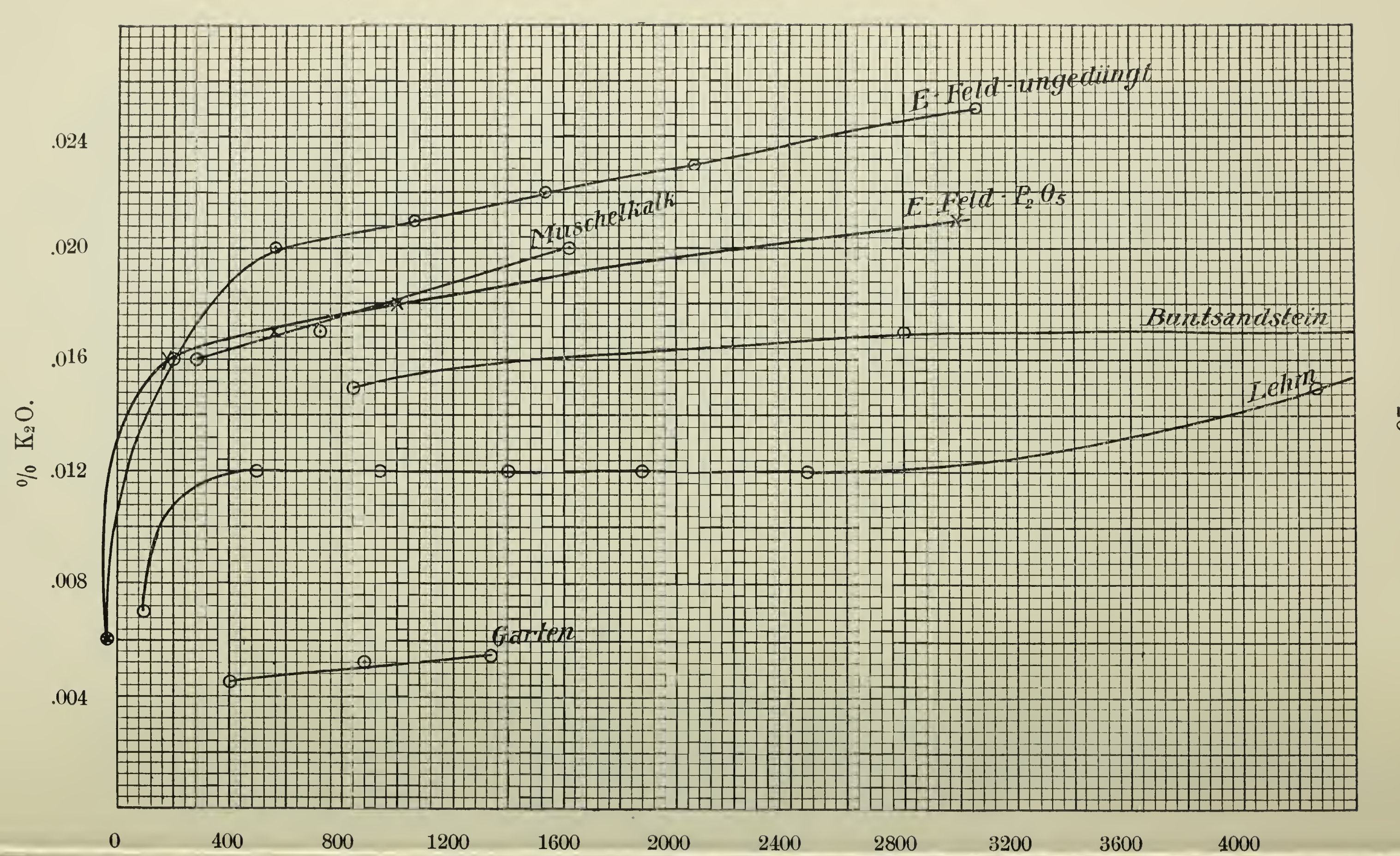
Tabelle IV. Anfangsacidität-mg N_2O_5 per Liter.

In der Tabelle III sind die Endacidität der Lösung in mg von N_2O_5 per Liter auf die horizontale Abscissenlinie und die mittelst der betreffenden Mengen Salpetersäure extrahierten P_2O_5-Mengen auf die senkrechten Ordinaten aufgetragen. Bei jedem Boden hat die Kurve einen horizontalen Teil zwischen den Punkten, welche eine Endacidität von 400 und 800 mg N_2O_5 per Liter repräsentieren. Im allgemeinen läuft die Kurve von diesem flachen Teil links sehr schnell herunter und rechts davon erhöht sie sich allmählich. Die Zahlen sowohl wie die Kurven zeigen sehr klar und deutlich eine bestimmte und natürliche Grenzlinie zwischen dem leicht löslichen und dem schwer löslichen P_2O_5-Gehalt dieser Böden und weiter, daß diese Grenzlinie für diese sechs Böden bei denselben Säureconcentrationen der Salpetersäurelösungen liegt.

In Tabelle IV sind die Anfangsaciditäten statt der Endaciditäten auf die horizontale Abscissenlinie aufgetragen. Wegen des verschiedenen Kalkgehalts dieser Böden zeigen die Kurven keine Gleichförmigkeit. Diese Ungleichförmigkeit würde auch vorhanden sein, wenn ich diese Böden durch eine andere Methode, welche die Basizität des Bodens nicht berücksichtigt, untersucht hätte.

In diese beiden Tabellen wurden bei den reichen Böden aus dem Versuchsfelde und dem Garten die extrahierten P_2O_5-Mengen mit nur 1/10 ihrer Höhe eingetragen, um sie mit denen der anderen armen Böden auf dasselbe Diagramm bringen zu können.

Tabelle V gibt graphisch die in den Tabellen I und II für den Gehalt dieser Böden an leicht löslichem Kali gegebenen Resultate. Bei dem Gartenboden habe ich nur ein Zehntel der wirklichen Prozente aufgetragen, um seine Kurve auf das für die anderen Böden gebrauchte Diagramm bringen zu können. Die Wirkung der ganz schwachen


E-Feld-ungedüngt
E-Feld-P_2O_5
Muschelkalk
Buntsandstein
Lehm
Garten
% K_2O.
.024
.020
.016
.012
.008
.004
0
400
800
1200
1600
2000
2400
2800
3200
3600
4000

Salpetersäure habe ich nicht bei allen Böden studiert, und folglich ist der links liegende Teil der Kurven teilweise nicht vorhanden. Die Resultate bei dem Lehm-Boden und bei den beiden Böden aus dem Versuchsfelde zeigen bei zunehmendem Säuregehalt der Lösung eine rasche Anfangszunahme des leicht löslichen Kalis. (Wahrscheinlich repräsentiert diese das durch Absorption gebundene Kali).

Nach schneller Zunahme des gelösten Kalis mit der Zunahme der Stärke der Salpetersäure sieht man bei fünf der sechs untersuchten Böden eine mit der steigenden Acidität der Lösung allmähliche Zunahme an gelösten Kali, und nur der Lehmboden zeigt eine Abgrenzung zwischen dem leicht löslichen und dem schwer löslichen Kaligehalt, wie dies sich bei der Phosphorsäure allgemein gezeigt hat. Es zeigen allerdings die Kurven einen bei diesen Böden bestimmten Unterschied in der Löslichkeit des Kaligehalts, aber dieser ist nicht ein so scharfer wie der bei dem P_2O_5-Gehalt, d. h. es gibt, mit Ausnahme bei derjenigen für Lehmboden, keinen flachen Teil der Kurve.

Versuche mit anderen Böden.

Mit Erlaubnis von Herrn Prof. v. Seelhorst, nahm ich am 16. November 1908, eine Probe der oberen 15 cm des Bodens von zwei Reihen des permanenten E-Feldes des hiesigen Versuchsfeldes, und zwar von den Reihen, von welchen auf einer im Jahre 1908 Winterweizen angebaut war und auf der anderen Pferdebohnen. Von vier Parzellen in jeder Reihe wurden Proben genommen. Eine Parzelle ist seit dem Jahre 1874 ungedüngt geblieben und die drei anderen haben in dieser Periode die eine eine P_2O_5-, die andere eine K_2O- und die dritte eine N-Düngung erhalten. Wegen des hohen Gehalts dieses Feldes an P_2O_5, zeigen die Ernten bei P_2O_5-Düngung keine Verbesserung, dagegen war im

Jahre 1908 die Wirkung der Kali-Düngung bei den Pferdebohnen sehr klar und deutlich und auch auffällig bei dem Winterweizen.

Die Bodenproben wurden getrocknet und dann wurde ihr Gehalt an in verdünnter HNO_3 löslichen P_2O_5 und K_2O nach den oben genannten Methoden bestimmt.

Da die Wirkung von heißer und stärkerer HNO_3, welche man bei der Ermittelung der Basizität des Bodens anwendet, eine größere wie die der zur Extraktion später angewandten kalten verdünnteren HNO_3 ist, so habe ich, um eine Bodenlösung, deren Acidität zwischen 200 und 1000 mg N_2O_5, oder besser zwischen 400 und 800 mg N_2O_5, liegen soll, zu bereiten, die folgenden Regeln gebraucht:

1) Wenn der Boden überhaupt keine kohlensauren Salze enthält oder die Basizität unter 1000 mg N_2O_5 beträgt, brauchte ich stets 10 cc der vorgeschriebenen Salpetersäure.

2) Wenn die Basizität zwischen 1000 und 4000 mg N_2O_5 liegt, brauchte ich so viel Kubikzentimeter Säure wie der Basizität entspricht.

3) Wenn die Basizität über 4000 mg N_2O_5 liegt, brauchte ich weniger Säure wie der Basizität entspricht. Fällt die Endazidität der so vorbereiteten Lösung nicht in die gewünschte Grenze so muß man, nach dem vorhergehenden Verfahren, eine neue Lösung bereiten.

Die Analyse dieser Bodenproben hat die in der Tabelle VI zusammengestellten Resultate gegeben. Die nicht mit P_2O_5 gedüngten Parzellen zeigen (mit Ausnahme der mit N versehenen Pferdebohnen-Erde) ungefähr einen gleichen Gehalt an löslicher P_2O_5, nämlich von .265 bis .290 %, und die Düngung mit P_2O_5 hat dies um 30 bis 40 % vermehrt.

Diese Methode zeigt in sehr auffallender Weise den Unterschied an leichtlöslichen Kaligehalt zwischen den mit K_2O gedüngten Parzellen und denen ohne K_2O-Düngung

Dieser Unterschied ist gleich bedeutend, auf der Pferdebohnen- und auf der Winterweizen-Reihe [1])

Tabelle VI. Lösliche P_2O_5 und K_2O in dem Boden des Versuchsfeldes.

Bodenart	Basizität mg N_2O_5	Endazidität mg N_2O_5	Auf trock. Erde gerechnet.	
			% P_2O_5	% K_2O
Winterweizen Reihe:				
Ungedüngt	2400	560	.277	.020
Gedüngt mit P_2O_5	2420	560	.384	.017
„ „ K_2O	2250	520	.265	.064
„ „ N	2360	620	.279	.015
Pferdebohnen Reihe:				
Ungedüngt	2660	460	.290	.018
Gedüngt mit P_2O_5	2430	520	.384	.017
„ „ K_2O	2250	500	.278	.062
„ „ N	2380	560	.314	.018

Die Topf-Versuche.

Um nachzuweisen, ob die durch die verdünnte HNO_3 gezeigten Unterschiede dieser Böden in ihrem P_2O_5- und K_2O-Gehalt im Verhältnis zu der Wirkung dieser Düngungs-

1) Entgegen diesem Umstande zeigten, wie oben bemerkt, die Erträge an Pferdebohnen und an Winterweizen die Wirkung der Kalidüngung in sehr verschiedenem Grade. Daraus muß man entweder schließen, daß wegen seiner physiologischen Beschaffenheit der Winterweizen eine größere Fähigkeit hat, Kali aus dem Boden zu ziehen, als die Pferdebohnen oder daß das Bedürfnis an Kali für Pferdebohnen viel größer ist als für Winterweizen, und es zeigt sich, daß die durch ein Lösungsmittel (hier durch verdünnte Salpetersäure) aus dem Boden extrahierte Menge an P_2O_5 und K_2O keineswegs allen Pflanzen gleichmäßig zu Gebote steht.

mittel auf die Böden stehen, und ob es ein Verhältnis zwischen den mit verdünnter HNO_3 aus den Böden herausgeholten P_2O_5- und K_2O-Mengen und den durch die auf ihnen gewachsenen Pflanzen herausgezogenen Mengen gibt, wurde ein Topfversuch, in welchen außer den oben genannten Buntsandstein-, Muschelkalk- und Lehmböden noch ein steriler Sandboden benutzt wurde, unternommen.

Zu diesem Zwecke stellte Herr Prof. v. Seelhorst mir in sehr freundlicher Weise sein Gewächshaus mit seiner Einrichtung zur Verfügung und ließ mir viel Hilfe und Rat bei diesem Teil meiner Arbeit zukommen. Mit großem Vergnügen ergreife ich diese Gelegenheit, um ihm meinem wärmsten Dank für seine Bemühungen auszudrücken.

Die Einrichtung und die Resultate der Versuche sind in den Tabellen XIV und XVII gegeben.

Die Töpfe, die in der Höhe 21 cm und im Durchmesser 25 cm maßen, waren aus Zinkblech. Um Wasser von unten statt an der Oberfläche zuzuführen, liefen an der Innenseite der Töpfe zwei aus Zinkblech gefertigte Röhren von ungleicher Länge bis zum Boden des Topfes herab, und diese waren am unteren Ende durch ein halb zylindrisches und mit Löchern versehenes Zinkblechstück verbunden.

Nach tüchtigem Durcheinandermischen der einzelnen Bodenmengen wurden die Düngungsmittel für jeden Topf mit der für den Topf bestimmten abgewogenen Erde vereinigt und die Mischung wurde in den für sie bestimmten Topf mittels des von Seelhorst'schen[1]) Apparates gebracht, damit man so in allen Töpfen dieselbe physikalische Beschaffenheit bekam. Auf jeder Bodenart wurden vier Pflanzen Gerste, Bohnen, Buchweizen und Kartoffeln angebaut, und zwar jede Pflanze unter drei Düngungen, d. h. $N + P$,

1) Journ. f. Landw. 54 (1906) S. 83.

$N + K$ und $N + P + K$. In den Boden jedes Topfes wurde außerdem Kalk gebracht. Jede Düngung wurde bei jeder Pflanze auf jedem Boden zur Kontrolle in gleicher Weise zweimal hergestellt. Die Mengen der Pflanzennährmittel betrugen per Topf: 5 g $CaCO_3$; 1 g N in Form von $NaNO_3$, mit Ausnahme bei den Bohnen, bei welchen nur $1/4$ g N gegeben wurde, und bei dem sterilen Sande, bei welchem nur $1/2$ g N gegeben wurde; 1 g P_2O_5 in Form von $CaH_4(PO_4)_2$; und 1 g K_2O in Form von 40 %igem Kalisalze.

Der Boden, auf welchem Bohnen wuchsen, wurde in den oberen 5 cm mit einer Beimischung von 200 g eines Bodens, auf welchem Bohnen gewachsen waren uud welcher deswegen die besonderen Bakterien enthielt, geimpft.

Bei dem Lehm enthielt jeder Topf 9790 g trockenen Boden, bei dem Muschelkalk 9190 g, bei dem Buntsandstein 9780 g und bei dem sterilen Sand 13910 g.

Am 6. und 7. Mai wurden die Töpfe mit kleiner Gerste, Vietzbohnen, Buchweizen und Juli-Kartoffeln besät. Bei den Kartoffeln wurde eine einzelne Knolle eingelegt. Bei den anderen Pflanzen wurde mehrere Samenkörner gelegt, aber später wurden bei der Gerste nur 10 Keimlinge, bei den Bohnen 11 und bei dem Buchweizen 17 per Topf stehen gelassen.

Beim Füllen der Töpfe habe ich eine systematisch und sorgfältig gewählte Durchschnittsprobe genommen, um den Wassergehalt zu bestimmen und die in den obigen Tabellen I und II (s. S. 20 u. 21) gegebenen Analysen auszuführen.

Die mechanische Analyse dieser Böden zeigt Tabelle VII.

Tabelle VII. Mechanische Analyse nach der Orthschen Methode[1]).

Bodenart:	Abschlämmbare Teile percent	Teilchen von .05—.5 mm percent	Teilchen von .5 – 1.0 mm percent[2])
Lehm	79.9	19.2	0.9
Muschelkalk	74.2	25.3	0.5
Steriler Sand	0.0	19.4	80.6
Buntsandstein	26.2	67.5	6.3

Von einem früheren Versuche her wußte Herr Prof. v. Seelhorst, daß der günstigste Wassergehalt dieser Böden berechnet auf die bei 100° getrockneten Böden, bei dem Lehm 18 %, bei dem Muschelkalk 20 %, bei dem Buntsandstein 15 % und bei dem sterilen Sand 10 % ist. Vermittels oft wiederholten Abwägens und Hinzuwägens des verdunsteten Wassers wurde dieser Wassergehalt während der Wachstumsperiode erhalten.

Die Töpfe standen auf Wagen, sodaß sie bei günstigem Wetter aus dem Gewächshaus ins Freie geschoben werden konnten. Jeden zweiten Tag wurden die Wagen in ihrer Richtung gegen die Sonne umgedreht, um die Schattenwirkungen des an der südlichen Seite stehenden Topfes auf den an der nördlichen Seite stehenden zu vermeiden.

Das Wachstum war normal mit Ausnahme desjenigen einiger Kartoffelpflanzen, welche an der Rollkrankheit litten und in den folgenden Tabellen XIV bis XVII besonders verzeichnet sind.

Am 31. Juli erschienen die besonders durch Wilfahrt und Wimmer bekannt gewordenen einen Mangel an K_2O

1) Wahnschaffe, Wissenschaftl. Bodenuntersuchung, Berlin (1903) S. 24. 2) Rückstand auf dem 0,5 mm Siebe.

anzeigenden braunen Flecken auf den Blättern der Bohnen, welche ohne K_2O-Düngung auf dem Lehmboden und dem sterilen Sand wuchsen. Ungefähr eine Woche später erschienen sie auch an den auf Muschelkalk- und Buntsandsteinböden ohne K_2O-Düngung wachsenden Bohnen, aber ebenfalls an den auf Lehmboden mit K_2O-Düngung wachsenden Bohnen.

Am 1. August wurden die Gerste und zwischen dem 7. und 11. August die Bohnen, der Buchweizen und die Kartoffeln geerntet. Die Wurzeln, mit Ausnahmeu derjenigen der Kartoffeln, wurden sorgfältig durch einen Wasserstrom ausgeschlämmt und dann getrocknet. Die geernteten Pflanzen wurden in Säcke aus Gaze getan und im Gewächshaus zum Trocknen gebracht. Die lufttrockene Ernte wurde in einem Trockenschrank bei 25° bis 30° wenigstens einen Tag lang getrocknet, um das spätere Zermahlen zu begünstigen. Dann wurden die Ernten einzeln herausgenommen, gewogen (Körner oder Knollen, Stroh und Wurzeln zusammen), sofort gemahlen und in mit einem luftdicht eingeschliffenen Stöpsel versehenen Glasflaschen aufbewahrt. Wenn die Gewichte zweier paralleler Töpfe ziemlich gut übereinstimmten, habe ich beide Ernten zusammengetan und sie als eine gemahlen. Später habe ich die Trockensubstanz in 2 g Proben unter Erhitzung auf 105° in einem Trockenschranke während fünf Stunden bestimmt.

Die in jedem Topf geerntete trockene Substanz ist in den später folgenden Tabellen XIV bis XVII gegeben. Aus diesen großen Tabellen habe ich in der folgenden Tabelle VIII die sich ergebenden Durchschnittszahlen übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle VIII. Geerntet an Trockensubstanz in g[1]).

Böden	Düngung		
	N + P	N + K	N + P + K
		Gerste	
Lehm	31	43.2	45.6
Muschelkalk	57.2	46.2	67.4
Buntsandstein	60.6	59.4	69.2
Steriler Sand	28.9	7.5	24.3
		Bohnen	
Lehm	57.7	73.2	77.9
Muschelkalk	85.1	73.1	91.9
Buntsandstein	87.9	90.3	86.9
Steriler Sand	31.5	21.7	34.8
		Buch-weizen	
Lehm	64.1	68.6	69.0
Muschelkalk	81.2	67.2	74.9
Buntsandstein	63.9	57.4	56.6
Steriler Sand	15.4	18.7	18.3
		Kartoffeln	
Lehm	30.5	52.1	59.9
Muschelkalk	62.1	37.0	62.8
Buntsandstein	41.8	39.8	38.4
Steriler Sand	15.8	12.2	22.4

1) Die Zahlen für die Ernteerträge von den Töpfen, auf welchen die Kartoffeln von der Rollkrankheit ergriffen wurden, und auch die für die Ernte des Topfes Nr. 221 wurden zur Durchschnittsrechnung nicht herangezogen.

Aus diesen Zahlen kann man berechnen, wie Phosphorsäure und Kali auf die Ernteerträge auf den vier verschiedenen Bodenarten gewirkt haben.

Man erhält die Wirkung der Phosphorsäure, wenn man die nach Düngung mit Stickstoff und Kali (N + K) erhaltenen Erntegewichte von den mit Volldüngung (N + P + K) erhaltenen abzieht, und die Wirkung des Kalis erhält man, wenn man die Zahlen von N + P von denjenigen von N + P + K abzieht. — So findet man die in Tabelle IX gegebenen Zahlen.

Siehe Tabelle IX auf S. 36.

Und hieraus erhält man die prozentische Erhöhung, welche die Phosphorsäure hervorgebracht hat, indem man die Zahlen der Tabelle VIII für N + K als 100 ansetzt und die eben genannte Erhöhung darauf berechnet. So erhält man z. B. für Gerste auf Lehm nach 43.2 : 2.4[1]) = 100 : x, x = 5.6 Prozent, und die Erhöhung durch Kali erhält man, wenn man den Ertrag auf N + P als 100 ansetzt und die Zahlen der Tabelle VIII darauf berechnet, z. B. für Bohnen auf Muschelkalk nach 85.1 : 6.8 = 100 : x, x = 8 Prozent. So ergibt auch die folgende Tabelle X.

---

1) Differenzen von 43.2 und 45.6.

Tabelle IX. Zunahme der Erntegewichte in g durch Angaben von

Pflanze	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
	Lehm		Muschelkalk		Buntsandstein		Steriler Sand	
Gerste	2.4	14.6	21.2	10.2	9.8	8.6	16.6	—4.6
Bohnen	4.7	20.2	18.8	6.8	—3.4	—1.0	12.9	3.3
Buchweizen	0.4	4.9	7.7	—6.3	—0.8	—7.3	—0.4	2.9
Kartoffeln	7.8	29.4	25.8	0.7	—1.4	—3.4	10.2	6.6

Tabelle X. Wirkung der Düngemittel auf den Boden.

Percentische Zunahme an Trockensubstanz durch Düngung mit P_2O_5 und K_2O.

Pflanze	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Gerste	5.6	43.9	45.9	17.8	16.5	14.2	224.0	—15.9
Bohnen	6.4	35.0	25.7	8.0	—3.8	—1.1	60.4	10.5
Buchweizen	0.6	7.7	11.5	—7.8	—1.4	—11.4	—2.1	18.8
Kartoffeln	14.9	96.5	69.2	3.3	—3.5	—8.1	86.9	40.7

Die Zahlen der Tabelle X zeigen eine ansehnliche Wirkung der P_2O_5 bei der Gerste, den Bohnen und den Kartoffeln auf dem Muschelkalk und eine kleinere sowohl bei dem Buchweizen wie bei der Gerste, den Bohnen und den Kartoffeln auf dem sterilen Sand.

Weiter zeigen sie eine günstige Wirkung des Kalis bei der Gerste, den Bohnen und den Kartoffeln auf dem Lehm und bei den Kartoffeln auf dem sterilen Sand. Seine Wirkung ist weniger stark, aber noch bemerkenswert bei der Gerste auf dem Muschelkalk und Buntsandsteinsand und bei dem Buchweizen auf dem sterilen Sand.

Man muß hieraus schliessen, daß in diesen Fällen Mangel an den betreffenden Nährstoffen in den angewandten Böden gewesen ist, und es bietet sich die Frage, ob dieser in Übereinstimmung mit den durch verdünnte Salpetersäure aus den betreffenden Böden ausgezogenen Mengen an Phosphorsäure und Kali steht. Um die Vergleichung der Erträge mit den in den Böden vorhandenen nach der Sigmondschen Methode extrahierbaren Mengen an Phosphorsäure und Kali zu erleichtern, habe ich aus den grossen Tabellen I und II die kleine Tabelle XI zusammengestellt. Wie oben erwähnt war in den angewandten Böden mehrfach Mangel an assimilierbaren Nährstoffen, und in der Tat hat Muschelkalk, der sich für P_2O_5 dankbar erzeigte, mit verdünnter HNO_3 nur 0.005 % des Bodens an P_2O_5 gegeben. In diesem Falle kann man also auf Übereinstimmung der Analysenzahlen des Bodens mit den Kulturversuchen schliessen.

Der Lehmboden, der mit Kalidüngung gute Erntevermehrung gezeigt hat, ist ärmer an Kali als Bunt-

sandstein und Muschelkalk gewesen, welche trotzdem weniger Erntesteigerung nach Kali-Düngung gezeigt haben [1]).

Tabelle XI. Die Gehalte der Bodenarten an in verdünnter HNO_3 löslichen P_2O_5 und K_2O in Prozenten des Bodens und in g per Topf.

Bodenarten	Lösliche P_2O_5		Löslicher K_2O	
	% des Bodens	g per Topf	% des Bodens	g per Topf
Lehm	.023	2.250	.012	1.180
Muschelkalk	.005	.460	.016	1.470
Buntsandstein	.012	1.170	.016	1.570
Steriler Sand	.003	.417	.004	.560

Weiter sieht man aus den in der Tabelle VIII gegebenen Zahlen, daß bei der Gerste und den Bohnen die Ernteerträge mit $N + P + K$ also mit Volldüngung auffallend größer auf dem Muschelkalk und dem Buntsandstein als auf dem Lehm waren. Wahrscheinlich muß man diese Tatsache auf den physiologischen Unterschied zwischen den Fähigkeiten der Pflanzen, mineralische Nährstoffe aufzunehmen, zurückführen, und es können augenscheinlich der Buchweizen und die Kartoffeln das durch die wasserhaltigen Doppelsilicate festgehaltene oder absorbierte Kali des Lehms gut aufnehmen, sodaß sie genügend Kali finden und für das in der Düngung hinzukommende Kali wenig dankbar

1) Vielleicht hängt dies mit der Beobachtung von Weibull (Journ. f. Landw. 55 (1907) S. 229) zusammen, nach welchen das Kali im Boden je nach der Menge an Ton mehr oder weniger festgebunden ist und hiernach in tonigen Böden weniger als in tonarmen Böden auf die Pflanzen wirkt.

sind, während die anderen Pflanzen, besonders die Gerste, diese Fähigkeit weniger besitzen.

Die Ernteerträge auf dem sterilen Sande, welcher nur einen erheblich kleineren Vorrat an Pflanzennährstoffen enthielt, sind von Interesse, da sie das verschiedene Bedürfnis der verschiedenen Pflanzen an Nährstoffen zeigen. Danach verlangt der Buchweizen in der Düngung mehr K_2O als P_2O_5, denn Düngung mit Kali hat 18 % Steigerung bewirkt und Düngung mit Phosphorsäure gar einen geringen Minderertrag veranlaßt. Das Bedürfnis an P_2O_5, d. h. die Ertragssteigerung nach der Gabe von P_2O_5, ist bei Gerste, Bohnen, Kartoffeln bedeutend, und zwar größer als nach der Düngung mit Kali.

Auf dem Buntsandstein zeigt sich in den Ernteerträgen keine auffallende Wirkung weder bei der P_2O_5-Düngung, noch bei der K_2O-Düngung.

Die Analyse der Ernten.

P_2O_5-Bestimmung. 2 g der trocknen fein gemahlenen und gut vermischten Körner oder Knollen, Stroh- und Wurzel-Mengen wurden in einer kleinen Porzellanschale in einen gewöhnlichen Muffeloffen gebracht. Die Muffel des Ofens war durch ein Stück dicker Asbestpappe ersetzt worden, auf welche die Porzellanschale gestellt wurde.

Durch diese Einrichtung war es möglich, die Temperatur gut zu regulieren, auch war dadurch die Erhitzung der ganzen Schale und ihres Inhalts gleichmässiger, und die durch langsame und gelinde Erhitzung ausgetriebenen organischen Bestandteile konnten leicht entweichen. Die Veraschung wurde zuerst bei so niedriger Temperatur durchgeführt, daß die leicht flüchtigen organischen Bestandteile ohne eigentliche Verbrennung ausgetrieben wurden. Dann wurde die Veraschung bei einer solchen Temperatur,

daß der Teil des Asbests, auf welchem die Schale stand, schwach rotglühend war, weiter fortgesetzt, bis die verkohlte Masse eine graue Farbe bekam[1]). Nach Abkühlung wurde 1 cc einer 25 %igen KNO_3-Lösung zugesetzt, das Wasser vollständig auf dem Wasserbade eingedampft, die Schale nochmal in den Ofen hineingebracht und bei einer so hohen Temperatur erhitzt, daß fast aller Kohlenstoff verbrannt war.

Dann wurde die Asche mit HCl und HNO_3 behandelt, die Kieselsäure abfiltriert und die P_2O_5 in der Lösung nach der oben gegebenen (siehe S. 14) Methode bestimmt, indem ich nur darin abwich, daß ich wegen der größeren zu fällenden Menge P_2O_5 größere Mengen von Molybdänsäurelösung anwandte.

K_2O - Bestimmung. 2 g des gemahlenen Materials wurden, wie oben angegeben, in der Muffel, jedoch ohne Zusatz von KNO_3-Lösung, verascht. Nach Abkühlung wurden, um die letzten Spuren von Kohlenstoff zu verbrennen, einige cc verdünnter HNO_3 zugesetzt, die Lösung auf dem Wasserbade eingedampft, und die Schale über einem Bunsenbrenner gelinde erhitzt. Hierdurch wurde neben der Verbrennung der Kohle gleichzeitig das sich darin befindende Eisen, Aluminium und die Phosphorsäure in den in Wasser unlöslichen Zustand übergeführt. Der Rückstand wurde mit Wasser digeriert und das Kali in der Lösung nach der oben gegebenen (siehe S. 16) Methode bestimmt.

---

1) Einen Zusatz von Baryt oder Kalk habe ich als nicht nötig erachtet, da die Veraschung bei einer recht niedrigen Temperatur durchgeführt wurde und da in allen Proben der Überschuß der Körner an P_2O_5 durch den Alkali- oder Kalkgehalt des Strohs und der Wurzeln neutralisiert wurde, und folglich die Asche immer alkalisch reagierte. Unter diesen Umständen kann sich keine Phosphorsäure verflüchtigt haben, und auf jeden Fall ist eine solche Verflüchtigung, wenn überhaupt, minimal gewesen.

Die ausführlichen Resultate meiner Analysen sind in den Tabellen XIV bis XVII gegeben (s. u.).

In der Tabelle XII (S. 42) findet man die aus den großen Tabellen XIV bis XVII herausgezogenen Mittelzahlen, welche die von den Pflanzen aus jedem Topf aufgenommene P_2O_5- und K_2O-Menge angeben.

Aus den in der Tabelle XII stehenden Zahlen habe ich die in dem oberen Teil der Tabelle XIII zu findenden Zahlen berechnet. Die letzteren zeigen (wenn man für die durch die Gerste aufgenommene Menge 100 ansetzt) die relativen Mengen an Phosphorsäure, welche jede Pflanze aus jedem Boden genommen hat, wenn Stickstoff und Kali zu dem Boden zugesetzt worden waren und die relativen Mengen an Kali, wenn außer Stickstoff auch Phosphorsäure gegeben war, d. h. wenn die Bedingungen am günstigsten waren, um P_2O_5 oder K_2O aus dem Boden zu ziehen. So z. B. hat die Gerste 233 mg P_2O_5 aus dem Lehm herausgezogen, als dem Lehm Stickstoff und Kali gegeben waren (s. Tabelle XII), und die Bohnen haben 381 mg P_2O_5 unter denselben Umständen aufgenommen. Dann ist $233 : 381 = 100 : x$ und $x = 163$, die relative Menge.

Der untere Teil der Tabelle XIII zeigt, per Topf, die Prozente der ganzen in ihm enthaltenen leicht löslichen P_2O_5- und K_2O-Mengen, die bei jedem Boden von den Pflanzen unter den günstigsten Umständen herausgeholt wurden. So enthält nach Tabelle XI der Lehmboden per Topf, 2.25 g leicht lösliche P_2O_5 und nach Tabelle XII hat die Gerste 0.233 g P_2O_5 aus dem Lehm genommen, also 9.1 % der vorhandenen leicht löslichen P_2O_5.

Aus den in Tabelle XII gegebenen Zahlen geht sehr klar hervor, daß die verschiedenen Pflanzen unter genau denselben Umständen sehr verschiedene P_2O_5- und K_2O-Mengen aus demselben Boden aufnehmen können, d. h. die

Tabelle XII. Die Mengen der P_2O_5 und des Kalis, welche die Pflanzen aus den Böden bei den verschiedenen Düngungen aufgenommen haben.

Böden	N + P		N + K		N + P + K	
	P_2O_5 mg	K_2O mg	P_2O_5 mg	K_2O mg	P_2O_5 mg	K_2O mg
Gerste.						
Lehm	171	261	233	511	233	488
Muschelkalk	252	807	174	1079	263	1227
Buntsandstein	333	902	256	1164	366	1153
Steriler Sand	86	119	13	232	67	293
Bohnen.						
Lehm	329	514	381	988	413	981
Muschelkalk	451	1012	337	1404	524	1571
Buntsandstein	510	1125	469	1597	504	1599
Steriler Sand	126	271	65	533	122	665
Buchweizen.						
Lehm	513	916	426	1241	523	1294
Muschelkalk	504	1510	242	1580	457	1745
Buntsandstein	640	1280	442	1453	584	1467
Steriler Sand	95	160	54	425	101	381
Kartoffeln.						
Lehm	171	423	224	849	247	864
Muschelkalk	267	912	257	1411	323	1589
Buntsandstein	284	878	247	1412	273	1373
Steriler Sand	81	255	44	591	87	644

Tabelle XIII. Relative Mengen der durch die Pflanzen aufgenommenen P_2O_5 und des K_2O.

Pflanze	Lehm		Muschelkalk		Buntsandstein		Steriler Sand	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_2	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Gerste	100	100	100	100	100	100	100	100
Bohnen	163	197	194	125	183	125	500	228
Buchweizen	183	351	139	187	173	142	415	135
Kartoffeln	96	162	148	113	96	97	338	215

Die Prozente der nach Tabelle XI in den Böden vorhandenen Mengen an durch verdünnte Salpetersäure ausziehbaren Mengen P_2O_5 und K_2O, welche von den Pflanzen aufgenommen sind.

Pflanze	Lehm P_2O_5	Lehm K_2O	Muschelkalk P_2O_2	Muschelkalk K_2O	Buntsandstein P_2O_5	Buntsandstein K_2O	Steriler Sand P_2O_5	Steriler Sand K_2O
	%	%	%	%	%	%	%	%
Gerste	9.1	22.1	38.0	54.9	21.9	57.5	2.3	14.3
Bohnen	16.9	43.6	73.3	68.8	40.1	71.7	11.6	32.7
Buchweizen	18.9	77.6	52.6	102.7	37.8	81.5	9.6	19.3
Kartoffeln	10.0	35.8	56.0	62.0	21.1	55.9	7.9	30.7

Nährstoffe eines Bodens, welche einer Pflanze zur Verfügung stehen, sind bei einer anderen Pflanze nicht assimilierbar. So hat aus dem Lehm der Buchweizen 3½ mal so viel K_2O und beinahe zweimal so viel P_2O_5 unter denselben Umständen aufgenommen als die Gerste, und aus dem Muschelkalk haben die Bohnen 2mal so viel P_2O_5 als die Gerste aufgenommen. In der Tat haben nur in einigen wenigen Fällen zwei verschiedene Pflanzen aus demselben Boden ungefähr gleiche Mengen des einen oder des anderen Nährstoffes aufgenommen.

Weiter sieht man aus den berechneten Zahlen des unteren Teils der Tabelle XIII, daß mit einigen Ausnahmen keine Übereinstimmung zwischen den Prozenten an in verdünnter Salpetersäure löslichen also leichtlöslicher P_2O_5 und löslichem K_2O ist, welche die verschiedenen Pflanzen aus den verschieden Böden herausgezogen haben.

So haben die Bohnen je nach der Art der Böden 11.6 bis 73.3 % der vorhandenen leicht löslichen P_2O_5 aufgenommen. In einigen Fällen ist dagegen einigermaßen Übereinstimmung vorhanden, so bei der K_2O-Menge, welche der Buchweizen aus dem Lehm und dem Buntsandstein aufgenommen hat, und bei der K_2O-Menge, welche die Gerste und die Bohnen aus dem Muschelkalk und dem Buntsandstein gezogen haben. Da nun solche Verschiedenheiten vorhanden sind, muß man schließen, daß auch mit der Schlösing-v. Sigmondschen Methode der Bodenextraktion es nicht gelungen ist, die allen Pflanzen zur Disposition stehenden Mengen an P_2O_5 und K_2O zu finden, und weiter, daß es überhaupt schwer und in der Tat ganz unmöglich ist, eine allgemein gültige chemische Methode zu finden, durch welche man die für verschiedene Pflanzen auf einem Boden oder für eine Pflanze auf verschiedenen Böden assimilierbaren Nährstoffe bestimmen kann. D. h. die

Wirkung eines Lösungsmittels von irgend welcher Natur kann höchstens mit der Wirkung einer Pflanze auf einen Boden übereinstimmen, aber nicht die Wirkung anderer Pflanzen auf diesem Boden repräsentieren, denn verschiedene Pflanzen haben ganz verschiedene Wirkungen auf demselben Boden.

Hierzu kommt noch, daß, wenn man die klimatischen Umstände, die Pflanze oder den Boden verändert oder durch andere ersetzt, es zweifelhaft ist, ob das unter anderen Bedingungen gefundene Verhältnis fortbesteht.

Auch andere Agrikulturchemiker haben mehrfach diese Verschiedenheit zwischen der Wirkung des einen oder des anderen Lösungsmittels und der von verschiedenen Pflanzen gezeigt. So z. B. hat Gedroitz[1]) keine Übereinstimmung zwischen der Wirkung einer 2 %igen Citronen- oder Essigsäurelösung und der Nährstoffaufnahme von Hafer und Senf auf neunzehn verschiedene Böden gefunden, und auch König[2]) hat keinen Einklang zwischen der Wirkung von Wasserdampf unter Druck von fünf Atmosphären auf sechs verschiedene Böden und der Nährstoffaufnahme von Hafer und Erbsen auf die Böden bekommen.

Einfluss der Wurzelentwicklung.

Weiter ist es bemerkenswert, wie man aus der Tabelle XII sieht, daß jede der vier Pflanzen aus Buntsandstein mehr P_2O_5 und K_2O genommen hat als aus Lehm, obgleich der Lehm an leicht löslicher P_2O_5 zweimal und an »Gesamt-K_2O« $2^1/_2$ mal so reich ist als der Buntsandstein.

Dies beruht wahrscheinlich u. a. auf dem Unterschied zwischen der mechanischen Zusammensetzung

1) Zhur. Apuitn. Agron. (Journ. Expt. Landw.) 4 (1903) S. 403.

2) Landw. Versuchsstation 66 (1907) S. 401.

dieser Böden. Bei dem poröseren Buntsandsteinboden begegnen die empfindlichen Wurzelhaare der Keimlinge nicht einen so großen Widerstand wie bei dem dicht zusammen gedrängten Lehmboden, folglich war ihre Entwicklung eine vollkommenere auf dem Buntsandstein als auf dem Lehm. Diese stärkere Wurzelentwicklung der jungen Pflanzen ermöglichte ein nachfolgendes besseres Wachstum des oberirdischen Teils, welches durch die immer mehr fortschreitende Entwicklung des Wurzelsystems begünstigt wurde. Bei dem Buntsandsteinboden war also eine größerere Wurzelhaaroberfläche vorhanden als bei dem Lehm[1]), und war deswegen bei dem Buntsandstein eine größere Zahl der Bodenpartikeln unmittelbar in Berührung mit den Wurzelhaaren, durch deren Tätigkeit ein Teil der in dem Bodenwasser unlöslichen Bodenbestandteile für die Pflanzen nutzbar gemacht werden kann.

Ein Boden, welcher wegen seiner mechanischen Zusammensetzung oder aus anderen Gründen eine größere Entwicklung der Wurzelhaare ermöglicht, stellt also den Pflanzen eine größere Menge seines natürlichen Vorrats an Pflanzennährstoffen zur Verfügung, und deshalb ist der Ernteertrag dieses Bodens zuweilen ein guter.

---

1) Bei dem noch gröberen sterilen Sande habe ich eine verhältnismäßig noch größere Wurzelentwicklung beobachtet, doch gestattet die absolute Nährstoffarmut des sterilen Sandes keinen Vergleich mit den besseren Böden.

Aus den Resultaten des Topfversuches geht klar hervor, daß es zwischen der Wirkung auf die vier Böden einmal der verdünnten HNO_3 und dann der der vier Pflanzen eine allgemeine und bestimmte Übereinstimmung oder irgend ein Verhältnis nicht gibt. Wenn man die Wirkung der verschiedenen Pflanzen auf denselben Boden und die von einer Pflanze auf die verschiedenen Böden beobachtet, sieht man die Unmöglichkeit, eine derartige chemische Methode der Bodenuntersuchung zu bekommen. Der Grund dafür ist, daß die chemische Methode nur einen für das Pflanzenwachstum wichtigen Faktor, nämlich den Nährstoffgehalt des Bodens und seine Löslichkeit in einem gewissen Lösungsmittel, berücksichtigt, während in dem Gewächshause und auf freiem Lande die anderen gleich wichtigen Faktoren für das Pflanzenwachstum ihren Einfluß ausüben. Von diesen Faktoren kann man nennen: Die Wärme, das Licht, die Samenart und seine Individualität, das Wasser und die physikalische Beschaffenheit des Bodens, welche alle einen deutlichen Einfluß auf das Wachstum haben; dazu die gleichwichtigen negativen Faktoren — schädliche Insekten und Pilze, Pflanzenkrankheiten, die Anwesenheit von schädlichen anorganischen Salzen im Boden, wie z. B. Eisenoxydul und eine große Menge von Natriumsulfat, Natriumcarbonat oder Magnesiumcarbonat, und auch von organischen Verbindungen, wie Cameron und Schreiner[1]) vor kurzem gezeigt haben.

Allgemeine Schlussergebnisse meiner Untersuchung.

1) Die von Schloesing und von Sigmond angegebene Methode zeigt sehr klar und deutlich bei den sechs von

1) Bureau of Soils, U. S. Dept. of Agr. Bull. Nr. 47.

mir untersuchten Böden eine bestimmte natürliche Abgrenzung der Löslichkeit der Bodenphosphate. Weiter liegt, wenn man die Basizität der Böden in Betracht zieht, die gleichmäßig wirkende Konzentration der Salpetersäure bei allen diesen Böden zwischen ziemlich bestimmten Grenzen, nämlich von 400 bis 800 mg N_2O_5 per Liter der sich nach der Bodenextraktion ergebenden sauren Bodenlösung.

2) Bei dem K_2O-Gehalt dieser sechs Böden zeigt die Methode zwar gewisse Unterschiede zwischen dem leicht löslichen und dem schwer löslichen Kaligehalt; aber nur beim Lehm wurde eine gleichmäßig wirkende Konzentration der Salpetersäure gefunden.

3) Das Verhältnis zwischen den Prozentgehalten der Böden an »Gesamt-P_2O_5« oder »Gesamt-K_2O« (löslich in HCl von 1.15 sp. Gew.) ist nicht dasselbe wie dasjenige, in welchem die in verdünnter HNO_3 löslichen Stoffe zu einander stehen. So ist, z. B., obgleich der Muschelkalk mehr »Gesamt-P_2O_5« als der Buntsandstein enthält, sein Gehalt an leicht löslicher P_2O_5 nur ungefähr ein Drittel von dem des Buntsandsteins, und während der Lehm $2^1/_2$ mal so viel »Gesamt-K_2O« als der Buntsandstein enthält, ist sein Gehalt an leicht löslichem K_2O nur $^3/_4$ von dem des Buntsandsteins.

4) Bei den Lehm- und Muschelkalkböden stimmen die Ernteerträge des Topfversuches mit der chemischen Analyse überein. So hat beim Lehm, welcher ärmer an K_2O war, eine K_2O-Düngung eine Erntezunahme bei den vier Pflanzen ergeben, und beim Muschelkalk, welcher ärmer an P_2O_5 war, hat eine P_2O_5-Düngung die Ernte immer erhöht. Obgleich die prozentische Erntegewichtszunahme der vier einzelnen Pflanzen nicht gleichmäßig war, da z. B. die Zunahme bei der Gerste auf dem Lehm mit K_2O-Düngung 43.9 % betrug (s. Tab. X, S. 36), während dies bei dem Buchweizen nur 7.7 % war, muß man doch schließen, daß bei

diesen Böden der Mangel des Bodens an einem Nährstoff wichtiger war als das besondere Bedürfnis der einzelnen Pflanzen. So war bei den Kartoffeln, welche, wie man sagt, ein besonderes Bedürfnis an K_2O haben, die prozentische Zunahme durch K_2O-Düngung auf dem Lehm 96.5 %, aber auf dem Muschelkalk betrug diese nur 3.3 %, während hier eine P_2O_5-Düngung eine 69.2 %ige Zunahme ergab.

6) Die P_2O_5- oder K_2O-Menge, welche entweder die Gerste, die Bohnen, der Buchweizen oder die Kartoffeln aus einem der vier bei dem Topfversuche gebrauchten Böden aufgenommen haben, ist mit einer einzigen Ausnahme, nicht dieselbe wie die, welche in verdünnter HNO_3 löslich war (s. Tab. XII u. XIII, S. 42, 43). Weiter gibt es kein allgemeines Verhältnis zwischen der durch eine Pflanze aus den vier Böden herausgezogenen P_2O_5- oder K_2O-Menge und der per Topf vorhandenen leicht löslichen P_2O_5- oder K_2O-Menge.

7) Die verschiedenen Pflanzen zeigen einen großen Unterschied in der Fähigkeit, Nährstoffe aus einem Boden zu ziehen, so hat z. B. der Buchweizen aus dem Lehm 3½ mal so viel K_2O und 2 mal so viel P_2O_5 als die Gerste aufgenommen. Deshalb ist es klar, daß man durch ein einzelnes Lösungsmittel die für alle Pflanzen assimilierbaren Nährstoffe eines Bodens nicht bestimmen kann; z. B. steht die P_2O_5, welche für den Buchweizen assimilierbar ist, der Gerste nicht oder kaum zur Verfügung. Ohne irgend eine besondere Pflanze zu berücksichtigen, kann man von der »Assimilierbarkeit« der Nährstoffe eines Bodens nicht reden. Man muß also für die Phosphorsäure und das Kali des Bodens den Ausdruck »assimilierbar« vermeiden, und es ist besser nur über die im allgemeinen »leicht löslichen« Nährstoffe zu sprechen. Die letzteren kann man durch die von Sigmondsche Methode bestimmen.

Anhang.

Beim Anwenden von v. Sigmonds Methode auf Bodenarten kam mir der Gedanke, zu versuchen, wie sich ein Material, welches als Kali-Düngemittel neuerdings empfohlen wird, d. h. das von der Rheinischen Eisenbahngesellschaft empfohlene Phonolithmehl, gegenüber verdünnter Salpetersäure verhält. Die Resultate waren wie folgt:

Endacität der Lösung mg N_2O_5	% K_2O im trock. Mehl
00	.50
00	.68
40	.85
320	1.42
640	2.10

Die Resultate zeigen, daß das Phonolithmehl etwas leicht lösliches Kali enthält, aber nicht reich daran ist. Folglich muß man sehr erhebliche Mengen dieses Materials auf den Acker bringen, um seinen Gehalt an leicht löslichem K_2O etwas zu vergrößern. Die Resultate stimmen überein mit denen, welche u. a. P. Wagner[1]) bei einem Topfversuche gefunden hat.

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen wurden im agrikultur-chemischen Laboratorium der Universität Göttingen z. T. auf Anregung des Herrn Geheimrat Professor Dr. B. Tollens ausgeführt.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimrat Prof. Dr. B. Tollens, auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank abzustatten für das der

1) Mitteilungen der Deutschen Landw. Gesellschaft. Stück 2.

Arbeit entgegengebrachte Interesse und die mir jederzeit bereitwilligst erteilten wertvollen Ratschläge. — Ebenso spreche ich Herrn Prof. Dr. v. Seelhorst für das Gestatten meiner Arbeiten in seinem Vegetationshause und für seine freundliche Förderung meiner Arbeit meinen besten Dank aus.

Tabelle XIV. P_2O_5 und K_2O aus dem Lehm durch die Pflanzen aufgenommen.

Topf Nr.	Düngung	Trock. Substanz der Ernte g	Mittel g	P_2O_5 %	P_2O_5 mg	Mittel mg	K_2O %	K_2O mg	Mittel mg
				Gerste.					
219	N+P	31.7		.55	174		.84	266	
220	„	30.3	**31.0**	.55	167	**171**	.84	255	**261**
221	N+K	30.0*		.44	132*		1.52	456	
222	„	43.2	**43.2**	.54	233	**233**	1.31	566	**511**
223	N+P+K	44.9		.51	229		1.07	480	
224	„	46.3	**45.6**	.51	236	**233**	1.07	495	**488**
				Bohnen.					
201	N+P	58.7		.57	335		.89	522	
202	„	56.7	**57.7**	.57	323	**329**	.89	505	**514**
203	N+K	74.0		.52	385		1.35	999	
204	„	72.4	**73.2**	.52	376	**381**	1.35	977	**988**
205	N+P+K	79.3		.53	420		1.26	999	
206	„	76.4	**77.9**	.53	405	**413**	1.26	963	**981**
				Buchweizen.					
213	N+P	66.5		.80	532		1.43	951	
214	„	61.6	**64.1**	.80	493	**513**	1.43	881	**916**
215	N+K	59.5		.65	387		1.95	1160	
216	„	77.7	**68.6**	.59	458	**426**	1.70	1321	**1241**
217	N+P+K	73.7		.72	531		1.77	1304	
218	„	64.2	**69.0**	.80	514	**523**	2.00	1284	**1294**
				Kartoffeln.					
207	N+P	26.1		.64	167		1.70	444	
208	„	34.9	**30.5**	.50	175	**171**	1.15	401	**423**
209	N+K	52.7		.43	227		1.63	859	
210	„	51.4	**52.1**	.43	221	**224**	1.63	838	**849**
211	N+P+K	36.9*		.64	236		2.31	852	
212	„	59.9	**59.9**	.43	258	**247**	1.46	875	**864**

* Nicht zur Durchschnittsrechnung herangezogen.

Tabelle XV. P_2O_5 und K_2O aus dem Muschelkalk durch die Pflanzen aufgenommen.

Topf Nr.	Düngung	Trock. Substanz der Ernte g	Mittel g	P_2O_5 %	P_2O_5 mg	Mittel mg	K_2O %	K_2O mg	Mittel mg
			Gerste.						
243	N+P	55.8		.44	246		1.41	787	
244	„	58.6	**57.2**	.44	258	**252**	1.41	826	**807**
245	N+K	44.0		.37	163		2.42	1065	
246	„	48.3	**46.2**	.38	184	**174**	2.26	1092	**1079**
247	N+P+K	68.7		.39	268		1.82	1250	
248	„	66.1	**67.4**	.39	258	**263**	1.82	1203	**1227**
			Bohnen.						
225	N+P	88.6		.53	470		1.19	1054	
226	„	81.5	**85.1**	.53	432	**451**	1.19	970	**1012**
227	N+K	74.5		.46	343		1.92	1430	
228	„	71.7	**73.1**	.46	330	**337**	1.92	1377	**1404**
229	N+P+K	92.9		.57	530		1.71	1589	
230	„	90.8	**91.9**	.57	518	**524**	1.71	1553	**1571**
			Buchweizen.						
237	N+P	79.7		.62	494		1.86	1482	
238	„	82.7	**81.2**	.62	513	**504**	1.86	1538	**1510**
239	N+K	65.5		.37	242		2.34	1533	
240	„	68.9	**67.2**	.35	241	**242**	2.36	1626	**1580**
241	N+P+K	74.2		.61	453		2.33	1729	
242	„	75.6	**74.9**	.61	461	**457**	2.33	1761	**1745**
			Kartoffeln.						
231	N+P	63.5		.43	273		1.47	933	
232	„	60.6	**62.1**	.43	261	**267**	1.47	891	**912**
233	N+K	41.7		.69	288		3.67	1530	
234	„	32.3	**37.0**	.70	226	**257**	4.00	1292	**1411**
235	N+P+K	58.5		.58	339		2.90	1697	
236	„	66.7	**62.8**	.46	307	**323**	2.22	1481	**1589**

Tabelle XVI. P_2O_5 und K_2O aus dem Buntsandstein durch die Pflanzen aufgenommen.

Topf Nr.	Düngung	Trock. Substanz der Ernte g	Mittel g	P_2O_5 %	P_2O_5 mg	Mittel mg	K_2O %	K_2O mg	Mittel mg
				Gerste.					
291	N+P	59.6		.55	328		1.49	888	
292	„	61.5	**60.6**	.55	338	**333**	1.49	916	**902**
293	N+K	58.3		.43	251		1.96	1143	
294	„	60.4	**59.4**	.43	260	**256**	1.96	1184	**1164**
295	N+P+K	64.1		.55	353		1.80	1154	
296	„	74.3	**69.2**	.51	379	**366**	1.55	1152	**1153**
				Bohnen.					
273	N+P	90.7		.58	526		1.28	1161	
274	„	85.0	**87.9**	.58	493	**510**	1.28	1088	**1125**
275	N+K	92.0		.52	478		1.77	1628	
276	„	88.5	**90.3**	.52	460	**469**	1.77	1566	**1597**
277	N+P+K	83.3		.58	483		1.84	1533	
278	„	90.5	**86.9**	.58	525	**504**	1.84	1665	**1599**
				Buchweizen.					
285	N+P	70.4		.88	620		1.91	1345	
286	„	57.3	**63.9**	1.15	659	**640**	2.12	1215	**1280**
287	N+K	57.7		.77	444		2.53	1460	
288	„	57.1	**57.4**	.77	440	**442**	2.53	1445	**1453**
289	N+P+K	55.0		.97	534		2.52	1386	
290	„	58.2	**56.6**	1.09	634	**584**	2.66	1548	**1467**
				Kartoffeln.					
279	N+P	41.8		.68	284		2.10	878	
280	„	27.9*	**41.8**	.71	198*	**284**	2.43	678*	**878**
281	N+K	37.2		.62	231		3.55	1321	
282	„	42.3	**39.8**	.62	262	**247**	3.55	1502	**1412**
283	N+P+K	40.4		.71	287		3.58	1446	
284	„	36.3	**38.4**	.71	258	**273**	3.58	1300	**1373**

* Nicht zur Durchschnittsrechnung herangezogen.

Tabelle XVII. P_2O_5 und K_2O aus dem sterilen Sand durch die Pflanzen aufgenommen.

Topf Nr.	Düngung	Trock. Substanz der Ernte g	Mittel g	P_2O_5 %	P_2O_5 mg	Mittel mg	K_2O %	K_2O mg	Mittel mg
				Gerste.					
267	N+P	30.7		.33	101		.44	135	
268	„	27.0	**28.9**	.26	70	**86**	.38	103	**119**
269	N+K	8.1		.17	14		3.10	251	
270	„	6.9	**7.5**	.17	12	**13**	3.10	213	**232**
271	N+P+K	26.9		.30	81		1.34	360	
272	„	21.7	**24.3**	.24	52	**67**	1.04	226	**293**
				Bohnen.					
249	N+P	32.8		.40	131		.86	282	
250	„	30.1	**31.5**	.40	120	**126**	.86	259	**271**
251	N+K	23.2		.30	70		2.46	571	
252	„	20.1	**21.7**	.30	60	**65**	2.46	494	**533**
253	N+P+K	35.1		.35	123		1.91	670	
254	„	34.5	**34.8**	.35	121	**122**	1.91	659	**665**
				Buchweizen.					
261	N+P	14.8		.62	92		1.04	154	
262	„	15.9	**15.4**	.62	97	**95**	1.04	165	**160**
263	N+K	20.1		.29	58		2.28	458	
264	„	17.2	**18.7**	.29	50	**54**	2.28	392	**425**
265	N+P+K	19.5		.52	101		2.10	410	
266	„	17.1	**18.3**	.59	101	**101**	2.06	352	**381**
				Kartoffeln.					
255	N+P	15.3		.51	78		1.62	248	
256	„	16.2	**15.8**	.51	83	**81**	1.62	262	**255**
257	N+K	9.0		.42	38		4.87	438*	
258	„	15.3	**12.2**	.33	50	**44**	3.86	591	**591**
259	N+P+K	21.6		.39	84		2.88	622	
260	„	23.1	**22.4**	.39	90	**87**	2.88	665	**644**

* Nicht zur Durchschnittsrechnung herangezogen.



Lebenslauf.

Am 9. August 1876 wurde ich, James Harvey Pettit, protestantischer Konfession, als Sohn des Landwirts James Silas Pettit und seiner Frau Ella Flagler zu La Grange, New York, V. St. A., geboren. Im Jahre 1895 verließ ich die Shortsville High School mit dem Graduation Diploma. Nach Michaelis 1896 studierte ich an der Cornell Universität, wo ich im Juni 1900 den Grad Bachelor of Philosophy erwarb. Nach einem weiteren Studium von zwei Semestern an der Cornell Universität, nahm ich im Juli 1901 eine Stelle als Assistent der Chemie in der landwirtschaftlichen Versuchsstation der Universität Illinois an. Später war ich auch Lehrer der Agrikulturchemie, und zwar im besonderen auf dem Gebiete der Bodenertragsfähigkeit, an der Universität Illinois bis Michaelis 1907, zu welcher Zeit ich an der Georg-August-Universität zu Göttingen immatrikuliert wurde, wo ich bis jetzt studiert habe. Während meiner Studienzeit habe ich die Vorlesungen folgender Professoren und Dozenten gehört:

In Cornell: Bancroft, Caldwell, Chamot, Dennis, Gill, Nichols, Orndorff.

In Göttingen: Berthold, v. Braun, Fleischmann, Koch, v. Seelhorst, Tollens, Wallach, Zsigmondy.

Allen diesen meinen hochverehrtesten Lehrern spreche ich hiermit meinen verbindlichsten Dank aus.